

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
UNIVERSITÄT STUTTGART
SENAI - PR

RODRIGO VOTRE



AUTOMAÇÃO NO CONTROLE DE PERDAS E REDUÇÃO DE IMPACTOS
AMBIENTAIS EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

CURITIBA

2014

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
UNIVERSITÄT STUTTGART
SENAI - PR

RODRIGO VOTRE

AUTOMAÇÃO NO CONTROLE DE PERDAS E REDUÇÃO DE IMPACTOS
AMBIENTAIS EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

CURITIBA

2014

RODRIGO VOTRE

**AUTOMAÇÃO NO CONTROLE DE PERDAS E REDUÇÃO DE IMPACTOS
AMBIENTAIS EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná em parceria com o SENAI-PR e a Universidade de Stuttgart, Alemanha, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Meio Ambiente Urbano e Industrial

Orientadora: Profa. Dra. Daniela Neuffer
Coorientadora: Msc. Tânia Mara Pereira Marques

CURITIBA

2014

Dedico este trabalho à Raquel Vanessa,
minha esposa, e as minhas filhas
Emanuelle e Caroline, pelo incentivo,
compreensão, carinho e paciência.

Aos meus pais Antoninho e Terezinha.

Por todo o carinho e amor, por quem sou
e por tudo o que alcancei.

AGRADECIMENTOS

A minha querida esposa, Vanessa pelo incentivo fundamental para que este trabalho fosse realizado.

Aos professores do MAUI, pela amizade proposta e incentivo em busca de novos conhecimentos, em especial a minha orientadora professora Daniela Neuffer, pela atenção e dedicação na orientação deste trabalho.

Aos colegas de curso, com os quais formei boa amizade e adquiri diversos conhecimentos através da troca de experiências profissionais e acadêmicas.

A SANEPAR, empresa na qual trabalho, onde foram disponibilizadas informações para o desenvolvimento desta dissertação.

Aos colegas de trabalho que apoiaram a realização deste estudo, em especial a Tânia Mara Pereira Marques minha coorientadora.

Por fim deixo um agradecimento especial às instituições de ensino UFPR, SENAI-PR e Universidade de Stuttgart, que deram condições para realização deste mestrado e incentivam o ensino de qualidade, esperança de crescimento e desenvolvimento de nosso país.

RESUMO

O conhecimento sobre os processos dos sistemas de abastecimento de água (SSA's), dos tipos e perdas existentes no abastecimento de água e das ferramentas de automação, são essenciais para o entendimento das possibilidades de melhorias do desempenho desses sistemas.

No saneamento, os principais atrativos para se justificar o investimento em automação residem na melhoria da qualidade do tratamento e distribuição de água, por meio do monitoramento e controle em tempo real, redução de custos operacionais, como produtos químicos e substituição da operação nas unidades por operação remota, além da possibilidade de gerenciamento de energia elétrica consumida, de medições precisas dos volumes de água produzida e distribuída e do controle das variáveis de processo, como pressão, nível e vazão.

Entretanto as maiores dificuldades encontradas em um (SSA), residem na quantidade de água perdida e no impacto ambiental gerado, tanto na necessidade de construção de novos sistemas de abastecimento, como nos danos provocados por vazamentos e rompimentos. Para redução destes fatores, foi proposto um estudo de caso avaliativo em um sistema de abastecimento da SANEPAR em Curitiba - PR, Centro de Reservação (CR) Portão, antes e após o advento da automação, visando validar o controle de pressão automatizada via *set point* de pressão, que possibilitam o controle da variação de velocidade dos conjuntos moto bomba (CMB's) acionados por conversores de frequência.

Ao se controlar a pressão num segmento da rede com o uso de conversores de frequência, quando as pressões tendem a aumentar nos pontos críticos, os conversores de frequência se ajustam ao *set point* de pressão do Controlador Lógico Programável (CLP), variando a velocidade dos CMB's, buscando manter a pressão requerida, ligando ou desligando bombas complementares.

Este estudo de caso demonstrou o ganho proporcionado pelo controle de pressão automatizado, tanto na redução de perdas de água, redução de manutenções nas redes de distribuição, como na redução do gasto de energia elétrica e visa a melhoria continua dos processos, colaborando para otimizar o sistema de abastecimento, minimizando possíveis falhas, danos ambientais e financeiros.

Palavras-chave: CLP, SSA, CMB, CR, set point, telemetria

ABSTRACT

The knowledge about the processes of water supply systems (WSS's), and types of existing losses in water supply and automation tools are essential for understanding the possibilities for improvement of the performance of these systems. In sanitation, the main attractions to justify the investment in automation reside in improving the quality of treatment and distribution of water, through monitoring and control in real time, reducing operational costs, such as chemicals and replacement of operating units by remote operation, and the possibility of managing electricity consumed, accurate measurements of the volume of water produced and distributed, and control of process variables such as pressure, level and flow. However the greatest difficulties encountered in one (WWS), reside in the amount of water lost and the environmental impact, both in the need to build new supply systems, as the damage from leaks and ruptures. To reduce these factors, we propose an evaluative case study in SANEPAR water supply system, Curitiba - PR, Center Reservation (CR) Portão, before and after the advent of automation, aimed at validating the automated pressure control with set point pressure, enabling control of the speed variation of the motor pump sets (MPS's) driven by frequency converters. By controlling the pressure in a network segment using frequency converters, when pressures tend to increase the critical points, frequency converters adjust the set point pressure of Programmable Logic Controller (PLC), varying the speed of MPS's, seeking to maintain the required pressure by turning on or turning off additional pumps.

This case study demonstrated the gain provided by the automated pressure control, either to reduce water losses, reduction of maintenance in distribution networks, such as the reduction of the electric power source and aims at continuous improvement of processes, helping to optimize supply system, minimizing potential failures, environmental and financial damage.

Keywords: CLP, WSS, MPS, CR, set point, telemetry

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - REPRESENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE ABASTECIMENTO	18
FIGURA 2 - CURVA TENSÃO/FREQUÊNCIA.....	26
FIGURA 3 - REPRESENTAÇÃO DE PERDAS.....	30
FIGURA 4 - PERDAS FÍSICAS INERENTES.....	32
FIGURA 5 - CICLO DE PROCESSAMENTO DA AUTOMAÇÃO.....	42
FIGURA 6 - SINAIS DE INSTRUMENTAÇÃO.....	44
FIGURA 7 - ESTRUTURA DO CLP.....	50
FIGURA 8 - FLUXOGRAMA DE SCAN DO CLP.....	51
FIGURA 9 - SISTEMA DE TELEMETRIA.....	56
FIGURA 10 - EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS SUPERVISÓRIOS.....	59
FIGURA 11 - SISTEMA SCADA.....	61
FIGURA 12 - TELA INICIAL SISTEMA SCADA IGUAÇU.....	71
FIGURA 13 - SELEÇÃO DE UNIDADES SISTEMA IGUAÇU.....	72
FIGURA 14 - TELA GERAL IHM CR PORTÃO.....	73
FIGURA 15 - SISTEMA SUPERVISÓRIO CR PORTÃO.....	74
FIGURA 16 - POP UP DE CONTROLE DAS ELEVATÓRIAS.....	76
FIGURA 17 - EQUIPAMENTOS CMB's E HV's ANALISADOS.....	77
FIGURA 18 - PARTIDA COMPENSADA.....	78
FIGURA 19 - CONVERSOR DE FREQUÊNCIA VLT ACQUA DRIVE.....	79
FIGURA 20 - CLP SIEMENS ET 200S.....	80
FIGURA 21 - SENSOR DE PRESSÃO YOKOGAWA.....	81
FIGURA 22 - POP UP MEDIDOR DE PRESSÃO.....	82
FIGURA 23 - CONFIGURAÇÃO DE GRÁFICOS SCADA.....	85
FIGURA 24 - PRESSÃO MAIO 2012.....	93
FIGURA 25 - PRESSÃO MAIO 2013.....	94
FIGURA 26 - PRESSÃO DETALHADA MAIO 2012 (3 DIAS).....	96
FIGURA 27 - PRESSÃO DETALHADA MAIO 2013 (3 DIAS).....	96
FIGURA 28 - FREQUÊNCIA MAIO 2013 (3 DIAS).....	98
FIGURA 29 - CORRENTE MAIO 2013 (3 DIAS).....	100

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - RESULTADOS DO CONTROLE DE PRESSÃO.....	95
TABELA 2 - SET POINT DE PRESSÃO.....	97
TABELA 3 - MANUTENÇÃO DE REDES E RAMAIS DE DISTRIBUIÇÃO.....	101
TABELA 4 - BASE DE DADOS PARA CÁLCULO DE PERDAS.....	102
TABELA 5 - INDICADOR DE PERDAS PERCENTUAIS.....	102
TABELA 6 – INDICADOR DE PERDAS POR LIGAÇÃO.....	103
TABELA 7 - POTENCIAL FINANCEIRO DA REDUÇÃO DE PERDAS.....	105
TABELA 8 - CONSUMO DE ENERGIA E CUSTO ENERGÉTICO.....	105
TABELA 9 - RELAÇÕES DO POTENCIAL DA REDUÇÃO DE PERDAS.....	106
TABELA 10 - RELAÇÕES DO CONSUMO, VOLUME E CUSTOS DIÁRIOS.....	106
TABELA 11 - RETORNO SOBRE INVESTIMENTO.....	107

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - TIPOS DE ACIONAMENTOS DE MOTORES ELÉTRICOS.....	25
QUADRO 2 - CARACTERIZAÇÃO GERAL DAS PERDAS.....	33
QUADRO 3 - CLASSIFICAÇÃO AO ÍNDICE DE PERDAS PERCENTUAL.....	34
QUADRO 4 - ÍNDICE DE PERDAS EM DIVERSOS PAÍSES.....	35
QUADRO 5 - TERMOS TÉCNICOS INSTRUMENTAÇÃO.....	44
QUADRO 6 - SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DO SAIC.....	69
QUADRO 7 - UNIDADES DO SCADA IGUAÇÚ.....	71
QUADRO 8 - LEGENDA DOS EQUIPAMENTOS DA IHM.....	73
QUADRO 9 - PADRÃO DE CORES DE STATUS DOS EQUIPAMENTOS.....	75
QUADRO 10 - CONDIÇÃO DE FUNCIONAMENTO DOS EQUIPAMENTOS.....	75
QUADRO 11 - ESPECIFICAÇÃO DOS CMB's DO CR PORTÃO.....	78
QUADRO 12 - LISTA DE EQUIPAMENTOS QA.....	80
QUADRO 13 - CUSTOS DE IMPLEMENTAÇÃO DA AUTOMAÇÃO.....	91

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
AC	- Corrente Alternada
ADASA	- Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal
AI	- Analogic Input
CCO	- Centro de Controle Operacional
CLP	- Controlador Lógico Programável
CMB	- Conjunto Motor Bomba
CE	- Consumo de Energia
CEVM	- Custo de Energia por Volume consumido Medido
CPU	- Unidade Central de Processamento
CR	- Centro de Reservação
DA	- Disponibilidade de Água que deixou de ser perdida
DC	- Tensão Contínua
DI	- Digital Input
DO	- Digital Output
EET	- Estação Elevatória
ETA	- Estação de Tratamento de Água
FT	- Flow Transmitter
GPRS	- General Packet Radio Service
HL	- Habitante por Ligação dia
HV	- Válvula de controle manual
IHM	- Interface Homem Máquina
IP	- Inthernet Protocol
IP(%)	- Indicador de Perdas Percentual
IPL	- Indicador de Perdas por Ligação
LA	- Número de Ligações Ativas
LT	- Level Transmitter
MASPP	- Metodologia de Análise Solução de Problemas de Perdas
MCA	- Metro por Coluna da Água
NBR	- Normas Brasileiras

ND	- Número de dias do período avaliado
NHS	- Número de habitantes do Sistema
OMS	- Organização mundial da saúde
OPC	- Ole for Process Control
PID	- Proporcional Integral Derivativo
PL(%)	- Porcentual do volume faturado por tipo de Ligação
PPL	- Perdas de água Parciais por tipo de Ligação
PT	- Pressure Transmitter
PWM	- Modulação por Largura de Pulso
QA	- Quadro de Automação
QB	- Quadro de Bombas
QDF	- Quadro de Força
RAM	- Memória de dados
REL	- Relação de Energia por Ligação
SAPIENS	- Sistema de Análises e Solução de Problemas de Perdas da Sanepar
SCADA	- Supervisory Control and Data Acquisition
SCAN	- Varredura de Programação
SNIS	- Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SSA	- Sistema de Abastecimento de Água
VFL	- Volume Faturado por Tipo de Ligação
VFRP	- Valor Faturado Redução de Perdas
VFT	- Volume Faturado Total
VFTL	- Valor Faturado por Tipo de Ligação
VM	- Volume consumido Medido
VML	- Volume consumido Medido por Ligação
VP	- Volume Produzido
VRP	- Válvula Reguladora de Pressão
URCTS	- Unidade de Receita da Região Sul de Curitiba
USPD	- Unidade de Serviço de Produção e Distribuição
USPO	- Unidade de Serviço de Projetos Especiais
UTR	- Unidade Terminal Remota
TFE	- Total da Fatura de Energia
ΔIPL	- Diferença do IPL

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 OBJETIVOS.....	16
2.1 OBJETIVO GERAL	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3 REVISÃO BIBLIOGRAFICA.....	17
3.1 SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	17
3.1.1 Captação.....	19
3.1.2 Adução.....	19
3.1.3 Tratamento.....	20
3.1.4 Armazenamento de água	21
3.1.5 Rede de distribuição.....	22
3.1.6 Estações elevatórias	24
3.1.6.1 Conjunto moto bomba (CMB)	24
3.1.6.2 Conversores de frequência	25
3.1.6.3 Válvulas.....	27
3.2 IMPACTO AMBIENTAL NO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	28
3.3 PERDAS NO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	29
3.3.1 Tipos de perdas.....	30
3.3.2 Indicadores de perdas	34
3.3.3 Gerenciamento de perdas	35
3.3.4 Sistemas de medição	36
3.4 GESTÃO DE PRESSÕES.....	38
3.5 SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO	41
3.5.1 Instrumentação.....	43
3.5.1.1 Variáveis do Processo de Instrumentação	45
3.5.1.2 Pressão	46
3.5.1.3 Nível.....	47
3.5.1.4 Vazão.....	48
3.5.2 Atuadores.....	49
3.5.3 Controladores lógicos programáveis	50
3.5.4 Redes de comunicação	52
3.5.5 Sistema de comunicação por telemetria.....	54
3.5.6 Interface homem maquina	57

3.5.7 Supervisório.....	57
3.5.8 Sistemas de supervisão, controle e aquisição de dados (SCADA).....	60
3.6 AUTOMAÇÃO EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	62
3.6.1 Principais funções da automação no abastecimento de água.....	64
3.6.2 Sistema de bombeamento via conversores de frequência	65
3.6.3 Monitoramento da qualidade de água	65
3.6.4 Acionamento múltiplo de conjuntos moto bomba	66
3.6.5 Dosagem de produtos químicos.....	66
3.6.6 Controle de pressão do ponto mais desfavorável	66
3.6.7 Intertravamentos de segurança.....	67
4 MATERIAIS E MÉTODOS	68
4.1 SELEÇÃO E DELIMITAÇÃO DO CASO	68
4.2 SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA CR PORTÃO.....	71
4.3 AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DE DADOS.....	83
4.4 CUSTO DE IMPLEMENTAÇÃO DA AUTOMAÇÃO CR PORTÃO.....	90
4.5 VISITA DE CAMPO	91
5 RESULTADOS E DISCUSÕES	92
5.1 CONTROLE DAS PRESSÕES	92
5.2 ANÁLISE DE DADOS E RESULTADOS OBTIDOS.....	92
5.2.1 Avaliação temporal da pressão	92
5.2.2 Análise detalhada do controle de pressão.....	95
5.2.3 Controle de pressão por conversores de frequência	97
5.2.4 Controle de potência pela utilização de conversor de frequência	100
5.2.5 Manutenção de redes e ramais de distribuição de água	101
5.2.6 Indicadores de performance do sistema.....	102
5.2.6.1 Indicador Percentual de perdas.....	102
5.2.6.2 Índice de perdas por ligação (IPL).....	103
5.2.7 Desperdício de água.....	104
5.2.8 Ganho de capital com economia das perdas	104
5.2.9 Economia de energia.....	105
5.2.10 Retorno sobre investimento.....	107
5.3 DISCUSSÕES.....	108
6 CONCLUSÃO	109
REFERÊNCIAS.....	111

1 INTRODUÇÃO

O saneamento ambiental passa por um momento de preocupação mundial sobre o uso e qualidade da água, recurso essencial à saúde da população, no qual é preciso uma reavaliação dos potenciais naturais e do comportamento de consumo, de modo a reduzir as perdas e evitar os desperdícios.

No Brasil, segundo ultimo levantamento feito pelo SNIS (2011), 38,8% de toda a água produzida é perdida no sistema de abastecimento, fazendo com que seja necessária a exploração de novas fontes de água para o abastecimento.

O advento da automação busca alterar este cenário, auxiliando os sistemas de abastecimento a reduzir as perdas, fornecer água com qualidade, com regularidade e de forma acessível, pensando na presente e nas futuras gerações.

O presente trabalho apresenta os processos existentes em um sistema de abastecimento de água, a questão das perdas, de seus indicadores e demonstra a importância em se realizar o controle de pressão e das demais variáveis dos processos, apresentando a automação como uma ferramenta importante para o controle dos mesmos, que permite gerenciar a medição e controle das variáveis, constituindo-se como agente de redução de perdas, economia de energia elétrica e redução de impactos ambientais nos sistemas de abastecimento de água.

Neste sentido, foi escolhido um estudo de caso para comprovar a eficiência em se utilizar o controle de pressão automatizado via conversores de frequência e otimizar o funcionamento do sistema de abastecimento de água.

A sequência de apresentação desta dissertação iniciou com a descrição dos objetivos do trabalho, capítulo 2, com ênfase na diminuição de perdas de água e de impactos ambientais no abastecimento, passou no capítulo 3 para a descrição do funcionamento dos processos dos sistemas de abastecimento, com informações sobre os indicadores e tipos de perdas de água, sobre a gestão das pressões, sobre os tipos de ferramentas de automação e a relação dessas tecnologias no abastecimento de água. No capítulo 4 foi apresentada a metodologia de pesquisa, onde se comparou o sistema antes e após a automação, enquanto que no capítulo 5 foram demonstrados os resultados obtidos com o controle de pressão.

Para a conclusão do trabalho, capítulo 6, foram apontadas as vantagens e considerações finais sobre o estudo de caso avaliado.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

A proposta deste trabalho é validar a eficiência do controle de pressão automatizada via conversor de frequência, para redução de perdas de água e impactos ambientais em sistemas de abastecimento de água.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Demonstrar os processos dos sistemas de abastecimento de água e como a automação pode auxiliar na otimização dos mesmos para a estabilização da pressão;
- Reduzir o consumo e custo de energia elétrica;
- Reduzir o custo do tratamento da água em função da diminuição de perdas;
- Diminuir os impactos ambientais provenientes das rupturas ou vazamentos das redes de distribuição de água tratada;
- Elaborar um estudo de caso, para comprovar a eficiência do controle de pressão na redução de perdas de água;
- Contribuir e auxiliar as companhias de saneamento na luta permanente de controle de perdas de água no abastecimento.

3 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

3.1 SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Como definição o sistema de abastecimento público de água constitui-se no conjunto de obras, instalações e serviços, destinados a produzir e distribuir água a uma comunidade, em quantidade e qualidade compatíveis com as necessidades da população, para fins de consumo doméstico, serviços públicos, consumo industrial e outros usos (FUNASA, 2006, p. 35).

Segundo informações da Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal (ADASA, 2013), um Sistema de Abastecimento de Água (SAA) é composto por diversas unidades:

1. Captação: conjunto de equipamentos e instalações utilizadas para a retirada de água do manancial, fontes da água captada dos rios, barragens, lagos e poços subterrâneos;
2. Adução: transporte da água do manancial até uma Estação de Tratamento de Água (ETA) ou transporte da água tratada para a distribuição;
3. Tratamento: realizado na ETA, por meio de uma série de processos químicos e físicos, nos quais a água bruta é tornada potável para que possa ser distribuída à população, com etapas como pré cloração, coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção e fluoretação;
4. Reservação: Armazenamento de água tratada em reservatórios para atender à rede de distribuição;
5. Rede de distribuição: parte final do sistema, condução da água para os pontos de consumo por meio de tubulações instaladas nas vias públicas permitindo que a água seja efetivamente entregue ao consumidor. Esse sistema pode ser dividido em zonas de pressão, que é cada uma das partes em que a rede é subdividida para impedir que às pressões dinâmicas mínimas e estáticas máxima ultrapassem os limites recomendados e preestabelecidos;

6. Estação Elevatória (EET): instalação de bombeamento destinada a transportar água a alguns pontos mais distantes, mais elevados ou para aumentar a vazão de linhas adutoras.

Na FIGURA 1, é possível observar a representação de um sistema de abastecimento de água convencional.

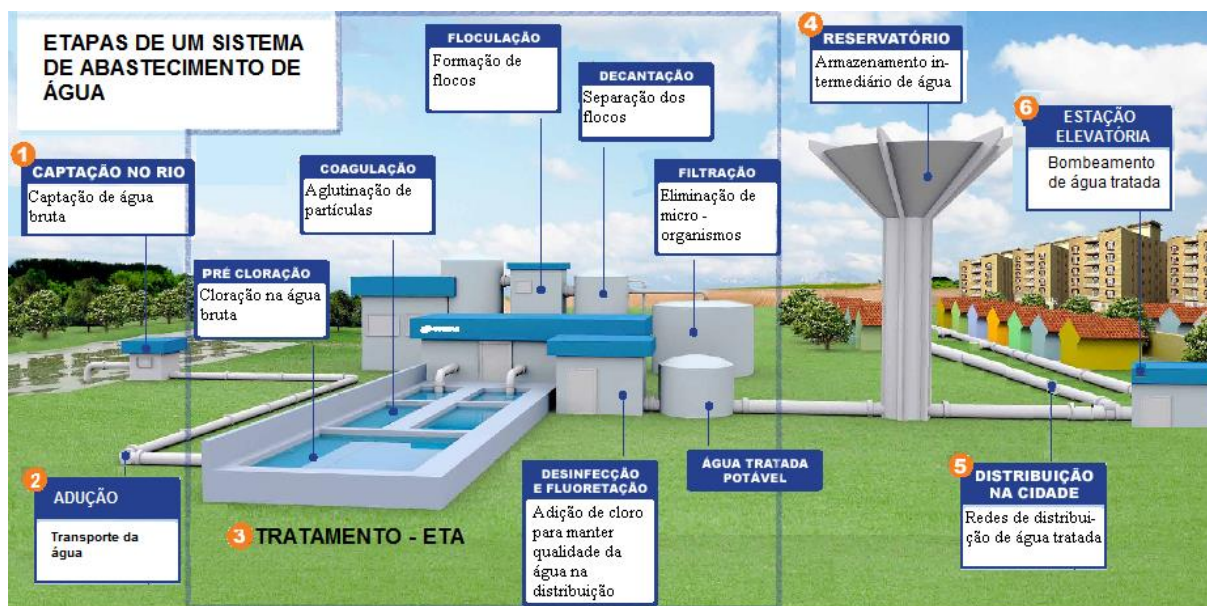


FIGURA 1 - REPRESENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE ABASTECIMENTO
FONTE: Adaptado de SANEPAR (2014)

Segundo Gomes (2004, p. 30), o abastecimento de água desde os reservatórios de distribuição até os pontos de consumo da cidade, realiza-se através de uma ou várias redes de distribuição, com finalidade de garantir que em cada ponto consumidor a água chegue com vazão precisa, pressão suficiente e que sua qualidade não seja deteriorada.

Um dos principais problemas que afetam a eficiência dos serviços de abastecimento de água é o grande desperdício do recurso e a elevada perda de água que ocorre nos sistemas de abastecimento (COELHO, 1983, p. 297).

Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS, 2014) o uso recomendado de consumo per capita de água é de 110 litros por habitante e dia, com um valor mínimo de 100 litros de água diários por habitante.

Já no Brasil, segundo o SNIS (2011) a média de consumo de água é de 162,6 litros de água por dia.

3.1.1 Captação

Segundo Prince (2006, p. 329), a parte mais importante de um sistema de abastecimento é a escolha do manancial e a respectiva captação de suas águas, que vai da escolha judiciosa do local, da proteção efetiva do manancial e também da correta construção e operação de seus dispositivos de captação, como barragens ou vertedouros para a manutenção do nível ou para regularização da vazão, dispositivos para impedir a entrada de materiais flutuantes e dispositivos para controlar a entrada de água, que refletem no sucesso das demais unidades do sistema tanto na quantidade como na qualidade da água a ser disponibilizada aos consumidores.

A captação tem por finalidade criar condições para que a água seja retirada do manancial abastecedor em quantidade capaz de atender o consumo e em qualidade tal que dispense tratamentos ou os reduza ao mínimo possível (MEDEIROS FILHO, 2009, p. 36).

3.1.2 Adução

As adutoras são tubulações encarregadas pelo transporte de água entre unidades do sistema de abastecimento que precedem a rede de distribuição. Segundo a Funasa (2006, p. 83) as adutoras podem interligar:

- Captação e a ETA;
- ETA e os reservatórios;
- Reservatórios de transferência e reservatórios de distribuição;
- Reservatórios e redes de distribuição;
- ETA e a rede de distribuição.

A adução por gravidade constitui o meio mais seguro e econômico de se transportar a água. Todavia, nem sempre existe um desnível suficiente para conduzir por gravidade a vazão necessária entre os pontos a serem interligados. Nesses casos, elevatórias são necessárias e as adutoras a elas interligadas são classificadas como adutoras por recalque. Outra forma de classificar as adutoras diz

respeito à natureza da água transportada. Quando antecedem a estação de tratamento de água são denominadas de adutora de água bruta e após receber tratamento, por adutora de água tratada (COELHO; BAPTISTA, 2006, p. 427).

No processo de definição do material a ser empregado, é fundamental que, além do estudo teórico, haja um programa de visualização do material em estudo, pois dada a sua grande variedade estrutural e mercadológica a escolha dos materiais pode definir a qualidade e o custo benefício do sistema implementado (KURODA; PÁDUA, 2006, p. 685).

Segundo Tsutiya (2004, p. 155), as adutoras são as unidades principais de um sistema de abastecimento de água e necessitam de cuidados especiais na elaboração do projeto e implantação das obras. Recomenda-se uma criteriosa análise de seu traçado em planta e perfil, a fim de verificar a correta colocação de seus órgãos acessórios, assim como, ancoragens nos pontos onde ocorrem esforços que possam causar o deslocamento das peças.

3.1.3 Tratamento

Segundo a NBR 12216, ABNT (1992), uma ETA é composta de um conjunto de unidades que tem como objetivo, produzir uma água com padrões adequados de potabilidade.

Segundo Oliveira (2010, p. 21) um sistema de tratamento convencional, conforme ilustrado na FIGURA 1, é composto por etapas como:

- Pré cloração: adição de agente oxidante (cloro) na água bruta, para combater algas e reduzir matéria orgânica;
- Coagulação: Adição de coagulante, visando desestabilizar impurezas presentes na água e facilitar o aumento do tamanho das mesmas na etapa de floculação;
- Floculação: Agitação da água realizada após a coagulação, com o objetivo de promover o contato entre as impurezas e, assim, aumentar o tamanho das mesmas moléculas da água por tanques, no fundo dos quais as impurezas;
- Decantação: Passagem da água por tanques, no fundo dos quais as impurezas ficam depositadas;

- Filtração: Remoção de material particulado e compostos orgânicos e inorgânicos indesejáveis, presentes na água. Os filtros geralmente são compostos por areia e carvão ativado;
- Desinfecção e fluoretação: Processo destinado a inativar microrganismos patogênicos presentes na água, geralmente através da adição de cloro para manter a qualidade da água na distribuição e adição de compostos contendo o íon fluoreto, com a finalidade de combater a cárie infantil;

Embora seja comum se dizer que do ponto de vista técnico pode-se potabilizar qualquer tipo de água, os riscos sanitários e os custos envolvidos no tratamento de águas contaminadas podem ser muito elevados, exigindo o emprego de técnicas cada vez mais custosas e sofisticadas, motivo pelo qual devem ser priorizadas ações de proteção dos mananciais (PÁDUA, 2006, p. 519).

As águas de superfície são as que mais necessitam de tratamento, porque se apresentam com qualidades físicas e bacteriológicas impróprias, com exceção das águas de nascentes que com uma simples proteção das cabeceiras e cloração, podem ser muitas vezes consumidas sem perigo (FUNASA, 2006, p. 86).

3.1.4 Armazenamento de água

Segundo Tsutiya (2004, p. 337), os reservatórios de distribuição de água constituem-se em elementos importantes nos sistemas de abastecimento de água, pois além de atenderem as diversas finalidades, são os elementos visíveis de maior destaque no sistema de distribuição de água. As principais finalidades dos reservatórios são:

- Regularizar a vazão: receber uma vazão constante, igual à demanda média do dia de maior consumo de sua área de influência, acumular água durante as horas em que a demanda é inferior à média e fornecer as vazões complementares quando a vazão de demanda for superior à média;
- Segurança no abastecimento: fornecer água por ocasião de interrupções no funcionamento normal da adução, como

consequência da ruptura da adutora, paralização da captação ou estação de tratamento e falta de energia elétrica;

- Reserva de água para incêndio: suprir vazões extras para o combate de incêndio;
- Regularizar pressões: a localização dos reservatórios de distribuição pode influir nas condições de pressão da rede, principalmente, reduzindo as variações de pressões;
- Aumento no rendimento dos conjuntos elevatórios: com os valores de altura manométrica e vazão aproximadamente constante, os conjuntos motor bomba (CMB's) poderão operar próximos ao seu ponto de rendimento máximo;
- Bombeamento de água fora do horário de pico elétrico: o reservatório permite que se faça o bombeamento de água fora do horário de pico elétrico, diminuindo sensivelmente os custos de energia elétrica.

É necessário que se tenha um cuidado especial em relação aos reservatórios, que são um ponto fraco no sistema de distribuição de água. Para evitar sua contaminação, é necessário que sejam protegidos com estrutura adequada, tubo de ventilação, impermeabilização, cobertura, sistema de drenagem, abertura para limpeza, registro de descarga e indicador de nível. Além de que sua limpeza e desinfecção devem ser realizadas rotineiramente (FUNASA, 2006, p. 110).

3.1.5 Rede de distribuição

A rede de distribuição é a unidade do sistema de abastecimento de água constituída por tubulações e órgãos acessórios instalados em logradouros públicos, que tem por finalidade fornecer em regime contínuo, 24 horas por dia, água potável a múltiplos consumidores. Essa denominação, rede de distribuição, provém da forma como as suas tubulações são instaladas, formando rede de condutos interligados entre si e possibilitando diversas derivações para a distribuição da água potável aos imóveis abastecidos (PRINCE, 2006, p. 603).

Em um sistema de abastecimento de água as redes de distribuição geralmente são obras enterradas que se distribuem sob as vias públicas e apresentam difícil acesso, algumas vezes extremamente complexos. Isto não quer

dizer que as redes não possam ser operadas. Muito pelo contrário, pelo fato de ser a parte do sistema de abastecimento que se encontra mais próxima do consumidor, deve merecer especial atenção, principalmente no que se refere à qualidade da água e perdas de água. Esses dois aspectos devem ser uma preocupação contínua dos responsáveis pelo sistema de abastecimento de água (TSUTIYA, 2004, p. 389).

As redes devem ser executadas com cuidado, em valas convenientemente preparadas. Na rua, a rede de água deve ficar sempre em nível superior à rede de esgoto, e, quanto à localização é comum localizar a rede de água em um terço da rua e a rede de esgoto em outro. O recobrimento das tubulações assentadas nas valas deve ser em camadas sucessivas de terra, de forma a absorver o impacto de cargas móveis (FUNASA, 2006, p. 118).

As redes principais tem a finalidade de abastecer as tubulações secundárias e devem preferencialmente ser localizadas em vias ou áreas públicas, formar circuitos fechados e ser direcionadas as zonas de maior demanda, próximas de onde se localizam as vazões concentradas. Já as redes secundárias, que abastecem os pontos de consumo devem ser assentadas indistintamente por todo o arruamento existente e devem ser dispostas, sempre que possível, sob os passeios (TSUTIYA, 2004, p. 395).

A importância da rede de distribuição, segundo Prince (2006, p. 604) deve-se a duas características de grande relevância, quais sejam:

- Característica de garantir, como derradeira unidade do sistema de abastecimento de água, que a água produzida e veiculada pelas unidades anteriores chegue até os seus consumidores finais sem a deterioração de sua qualidade e com a quantidade, pressão e continuidade estabelecidas pelas normas oficiais aplicáveis;
- Característica de constituir-se, geralmente, na mais extensa unidade do sistema, responsável, em geral, por mais de 50% do seu custo de implantação.

Desta forma pode-se dizer que uma rede de distribuição mal projetada ou mal operada é permanente fonte de problemas, principalmente no que tange a perdas de água, ao comprometimento da qualidade da água e a reclamações dos usuários (PRINCE, 2006, p. 604).

3.1.6 Estações elevatórias

O crescimento desordenado dos grandes centros urbanos é apontado como o principal responsável pela complexidade operacional dos sistemas de abastecimento de água, obrigando as companhias de saneamento a incrementarem seus sistemas a fim de atender a todas as condições e demandas impostas pelas distâncias e topografias adversas. Nesse sentido, as estações elevatórias são implementadas à malha operacional tendo como objetivo o pleno atendimento dos mais longínquos pontos de consumo com pressão e vazão adequadas (RODRIGUES; LUVIZOTTO JUNIOR, 2013, p. 1).

Tendo em vista a economia de energia, facilidade de operação, manutenção e segurança, seria desejável que os escoamentos fossem inteiramente por gravidade. Contudo, algumas vezes, os locais a serem atendidos estão em pontos altos ou muito afastados das fontes de abastecimento de água. Deste modo, as elevatórias tornam-se essenciais na captação, adução, tratamento e rede de distribuição de água, para conduzir o líquido a cotas mais elevadas, ou para aumentar a capacidade de adução do sistema (COELHO, 2006, p. 471).

Segundo Tsutiya (2004, p. 226), os principais componentes de recalque das estações elevatórias são: motor elétrico, bomba, acionamento por conversor de frequência e operação de válvulas.

3.1.6.1 Conjunto moto bomba (CMB)

Os conjuntos moto bomba (CMB's), constituídos pelo motor e bomba são largamente utilizados em sistemas de abastecimento de água e podem ser utilizados tanto na captação de água bruta, para levar água até a estação de tratamento, como nas elevatórias de água tratada, para alimentar a rede de distribuição ou reservatórios (GOMES; OTERO; COURA, 2009, p. 308).

Segundo Andrade Filho (2009, p. 104), os motores elétricos são dispositivos que convertem energia elétrica em trabalho de eixo ou energia mecânica, sendo responsáveis pelo acionamento da grande maioria de bombas hidráulicas. Enquanto as bombas são máquinas de fluxo, que convertem trabalho mecânico em energia de fluido, pressão e energias cinética e potencial, que fornecem um campo de pressões, vazões correspondentes e energia hidráulica, também chamada de altura

manométrica, responsável por bombear água de um ponto ao outro em um sistema de abastecimento de água (ANDRADE FILHO, 2009, p. 45).

O dimensionamento dos conjuntos deve ser feito a partir dos requisitos de vazão e altura manométrica dos sistemas, do que decorre a necessidade de executar medições das grandezas hidráulicas como etapa fundamental da atividade (GOMES; OTERO; COURA, 2009, p. 308).

A bomba, ou um grupo de bombas, geralmente são selecionadas para garantir a máxima vazão necessária ao sistema, nas condições de rendimento máximo. Entretanto, quando o sistema solicita uma vazão menor, torna-se necessário efetuar o controle de vazão da bomba através da mudança de suas características ou das características do sistema de bombeamento. O controle de vazão das bombas pode ser realizado através do controle do número de bombas, variação da rotação das bombas, de manobras de válvulas e variações da curva característica da bomba (TSUTIYA, 2007, p. 106).

As principais formas de acionamentos responsáveis por acionar os motores dos CMB's estão descritas no QUADRO 1 .

ACIONAMENTOS	DESCRIÇÃO
Partida direta	Método de acionamento na qual o motor é conectado diretamente a rede elétrica
Partida estrela-triângulo	Método de acionamento no qual o motor parte através de configuração estrela das bobinas, o que proporciona redução na corrente de partida. Posteriormente se efetua o fechamento das bobinas em triângulo e o motor passa a funcionar normalmente.
Partida compensada	A chave de partida compensadora alimenta o motor com tensão reduzida em suas bobinas na partida. Essa redução é feita através da ligação de um autotransformador em série com as bobinas do motor. Após o motor ter acelerado, as bobinas voltam a receber tensão nominal.
<i>Soft starter</i>	Equipamento eletrônico para partida e parada suave do motor, proporcionando redução na corrente elétrica de partida.
Conversor de frequência	Equipamento eletrônico que permite a variação da velocidade do motor, proporcionando redução na corrente de partida e economia de energia.

QUADRO 1 - TIPOS DE ACIONAMENTOS DE MOTORES ELÉTRICOS
FONTE: BEZERRA e SILVA (2009)

3.1.6.2 Conversores de frequência

O sistema de acionamento por conversores de frequência é considerado o melhor método para partida, parada e controle de motores elétricos. Nos sistemas de abastecimento de água seu uso permite o controle de fluxo através do controle

da velocidade de rotação da bomba, solução mais eficiente para este tipo de controle, além de oferecer grande potencial para a economia. As vantagens destes equipamentos vão frequentemente bem além da redução do consumo energético e incluem, entre outras o aumento da confiabilidade e da vida útil dos equipamentos (BEZERRA; SILVA, 2009, p. 237).

Segundo Rodrigues e Luvizotto Junior (2013, p. 1), os conversores de frequência são equipamentos eletrônicos acoplados aos CMB's, cuja função é o controle da velocidade de rotação dos motores elétricos a corrente alternada (AC).

Os conversores de frequência devem manter uma relação linear entre a tensão (V) e a frequência (Hz), como mostra a FIGURA 2, até os valores nominais e desta forma possibilitam o controle da rotação do motor. À medida que a frequência decresce, o conjugado máximo se aproxima da origem e permanece constante (SILVA, 2009, p. 149-150).

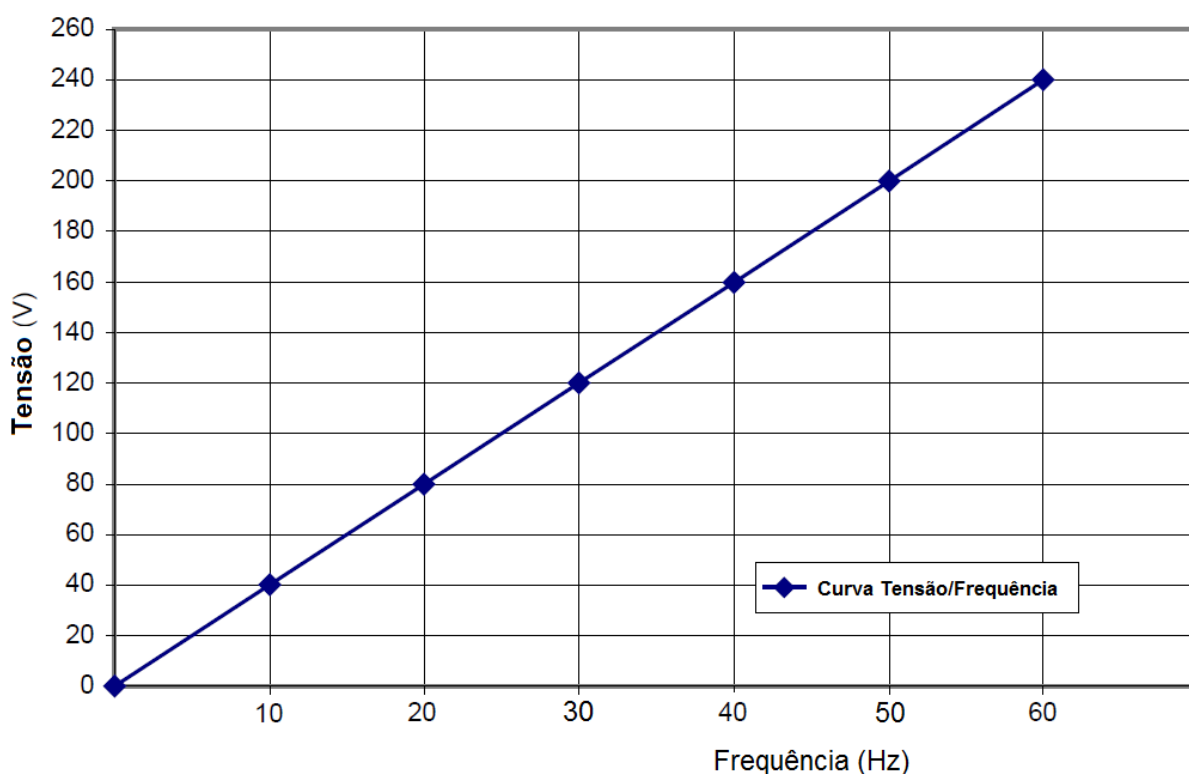


FIGURA 2 - CURVA TENSÃO/FREQUÊNCIA
FONTE: Adaptado de Ribeiro (2012)

Esse controle da curva Tensão/Frequência, FIGURA 2, altera a tensão oriunda do barramento de tensão contínua (DC), através da modulação por largura de pulso (PWM). Quando da necessidade do aumento da tensão, os pulsos são

alargados, enquanto para diminuição da tensão, os pulsos são estreitados (RODRIGUES; LUVIZOTTO JUNIOR, 2013, p. 4).

Segundo Silva (2009, p. 149), algumas características e vantagens dos conversores de frequência são:

- Ajuste da velocidade de rotação sem o empobrecimento da regulação;
- Pode-se obter elevado conjugado de partida;
- Variação linear da velocidade de rotação com a frequência;
- Proteção contra falta de fase, sobre corrente e subcorrente;
- Precisão na movimentação da carga;
- Pode operar com fator de potência próximo da unidade;
- Pode executar frenagens com recuperação de energia;
- Sincronismo na operação conjunta de motores;
- Possibilidade de interligação em redes de automação;
- Economia de energia.

A faixa de funcionamento recomendada para o conversor de frequência varia de 30 à 60 Hz. Nessa faixa, observa-se um decréscimo pequeno do rendimento quando diminui a frequência, entretanto, essa diminuição é insignificante quando comparada com a economia de energia proveniente da operação da bomba centrífuga com rotação reduzida, que de um modo geral, possibilita uma economia de energia de 10 a 50% (TSUTIYA, 2007, p. 110).

3.1.6.3 Válvulas

O controle de vazão e pressão das elevatórias por meio de manobras de válvulas pode ser feito através de válvula instalada à jusante da bomba, de válvula instalada no *by pass* da bomba ou por válvula reguladora de pressão (VRP).

A válvula instalada a jusante da bomba controla a vazão pela redução do diâmetro da tubulação, criando uma resistência adicional de modo a modificar a curva característica do sistema (TSUTIYA, 2007, p. 106).

Já a válvula instalada no *by pass* da bomba, controla a vazão pela variação da abertura da válvula instalada no tubo de *by pass* da bomba. Aumentando-se a

abertura da válvula, diminui-se a vazão na tubulação de recalque. No caso de bomba de reforço, quando o consumo de água é bem menor que a vazão de recalque da bomba, uma parte da vazão retorna à tubulação de sucção pelo *by pass*. Para a bomba localizada junto ao reservatório, o retorno de água será feito para o reservatório (TSUTIYA, 2007, p. 107).

Enquanto as VRP's limitam a pressão a jusante, sempre que esta exceda um determinado valor, surgindo como uma das alternativas mais eficientes, facilmente aplicáveis e mais econômicas para uniformização e o controle das pressões numa rede de distribuição (COVAS; RAMOS, 2007, p. 58). Segundo Golçalves e Alvim (2007, p. 19), as VRP's devem assegurar a limitação das pressões mínimas e máximas permitidas para os consumidores finais.

3.2 IMPACTO AMBIENTAL NO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Apesar de contribuírem para a melhoria da qualidade ambiental, os sistemas de abastecimento de água devem ser submetidos ao prévio licenciamento ambiental devido ao fato que sua implantação pode implicar em impactos ambientais sobre o meio ambiente. Na área urbana, o grande crescimento acompanhado pela ocupação imprópria dos mananciais contribui para alteração do regime hídrico, redução da qualidade das águas e impactos ambientais. Planos de ocupação do solo inadequados ou inexistentes permitem o avanço desordenado, sem critérios e sem estrutura de saneamento básico sobre as bacias de captação de água para consumo humano, animal e industrial. Portanto sempre haverá a necessidade de buscar novos mananciais mais distantes, o que torna a água um produto mais oneroso devido às distâncias que terá que percorrer até o consumidor (BERTOLINO, 2013, p. 23).

Segundo Andreoli *et al.* (2003, p. 45-46), os principais efeitos da ocupação urbanas obre o regime hídrico são:

- Alteração do regime de produção: a impermeabilização do solo impede a infiltração da água, acentuando os problemas de erosão urbana e aumentando os picos de cheia. Por outro lado à minimização da recarga nos solos, reduz a disponibilidade de água nos períodos de baixa precipitação;

- Ausência de infraestrutura básica: falta de coleta e tratamento de esgotos, coleta de lixo e a disposição inadequada de resíduos leva contaminantes aos rios que têm a qualidade da água comprometida, o que dificulta sua potabilização;
- Desperdício: os diferentes usos da água associado ao baixo custo e a disponibilidade aparentemente abundante, torna a água o recurso natural de uso mais negligente, mal administrado e desperdiçado pelo homem.

Além desses, segundo Heller (2006, p.55) há outros potenciais impactos das instalações de abastecimento de água:

- Em obras de captação superficial, quando há alterações no seu leito natural, estas podem provocar erosões nas margens e assoreamento nos leitos;
- Em obras de captação com construção de barragem de acumulação, onde os impactos ambientais do represamento podem ser significativos, tanto sobre a qualidade da água, quanto sobre o ambiente local, inclusive com disseminação de doenças;
- Na operação das estações de tratamento de água, nas quais são gerados muitos resíduos, como água de lavagem dos filtros e de descarga de decantadores e floculadores, que necessitam ser tratados convenientemente antes de seu lançamento;
- Em obras civis e de instalação de tubulações, sobretudo grandes adutoras, que podem gerar impactos, por exemplo: durante movimentos de terra, rebaixamento de lençol de água e ocupação de terrenos.

3.3 PERDAS NO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

As empresas de saneamento básico não tinham até algum tempo atrás a preocupação de conhecer e controlar o nível de perdas existentes nos sistemas de

abastecimento de água. Nas crises de abastecimento procuravam ampliar a oferta de água para sanar a situação. Já no contexto atual, devido à escassez de água, o momento é de reavaliação dos potenciais naturais e da reeducação para o consumo, buscando otimizar os sistemas, reduzir as perdas e evitar os desperdícios.

Os sistemas de abastecimento de água geralmente apresentam perdas entre a captação e a ETA, chamadas de perda na produção e desta até a entrega para o consumidor, denominadas perdas na distribuição (GONÇALVEZ; ALVIM, 2007, p. 13).

3.3.1 Tipos de perdas

Ao longo de um processo de distribuição de água tratada, uma parcela considerável de água é perdida, de maneira que ao contabilizar o volume de água bombeado no início do processo, ou seja, volume produzido (VP) e o volume micromedido, ou seja consumido pelos hidrômetros (VM), verifica-se uma discrepância considerável. Essa diferença volumétrica é denominada perda de água no sistema, que inclui as perdas reais, também chamadas de perdas físicas e as perdas aparentes (REIS; CHEUNG, 2007, p. 68).

A FIGURA 3, representa a composição dos volumes de água, produzido, micromedido e de perdas em um sistema de abastecimento de água.

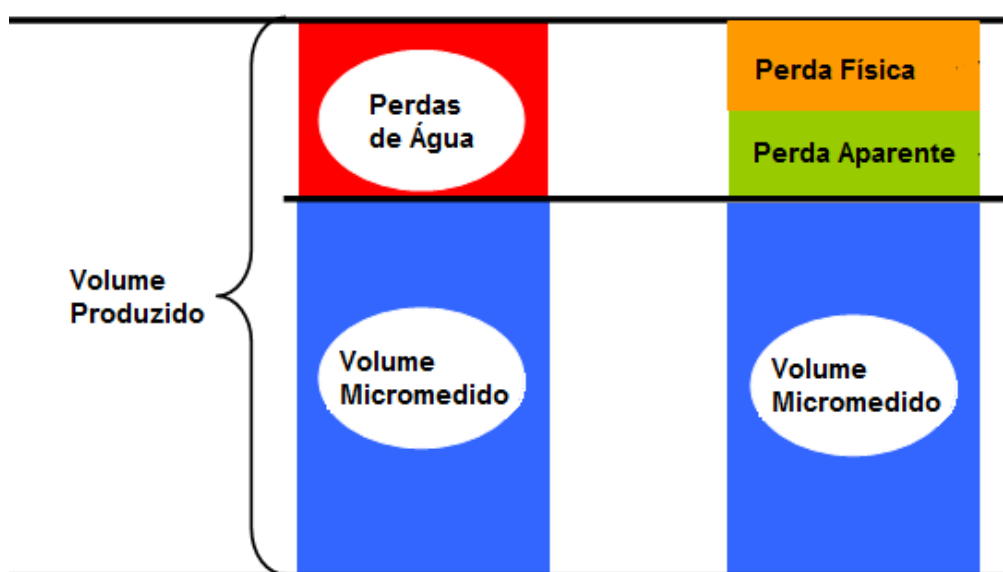


FIGURA 3 – REPRESENTAÇÃO DE PERDAS
FONTE: Adaptado de SANEPAR.- MASPP (2013)

Segundo Tardelli Filho (2004, p. 479), as definições dos termos volume macromedido e volume micromedido presentes na FIGURA 3 são:

- Macromedidação: refere-se ao conjunto de medições de vazão efetuadas nos sistemas de abastecimento de água, desde a captação no manancial até imediatamente antes do ponto final de entrega para o consumo. São os medidores que registram os valores do volume de entrada do subsistema, ou seja, o volume produzido;
- Micromedidação: refere-se ao volume consumido medido (VM) pelos clientes da companhia de saneamento, cujo valor será objeto da emissão da conta a ser paga pelo cliente.

Enquanto as perdas são definidas por Tardelli Filho (2004, p. 458), como:

- Perda real ou física: corresponde ao volume de água produzido que não chega ao consumidor final, devido à ocorrência de vazamentos nas adutoras, redes de distribuição e reservatórios, bem como de extravasamentos em reservatórios setoriais;
- Perda aparente: corresponde ao volume de água consumido, mas não contabilizado pela companhia de saneamento, decorrente de erros de medição nos hidrômetros e demais tipos de medidores, fraudes, ligações clandestinas e falhas no cadastro comercial. Nesse caso, então, a água é efetivamente consumida, mas não é faturada.

O envelhecimento das infraestruturas de abastecimento de água e dos respectivos equipamentos, desde a captação até ao consumidor, é um processo natural e inevitável. À medida que os diferentes componentes do sistema, condutores, reservatórios, estações de tratamento e equipamentos eletromecânicos se aproximam do fim da sua vida útil, o volume de perdas físicas de água tende a aumentar e a ocorrência de rupturas e de interrupções de abastecimento tornam-se cada vez mais frequentes, elevando os custos de manutenção corretiva dos sistemas (COVAS; RAMOS, 2007, p. 47).

Outro tipo de perda física é a perda por extravasamento, que pode acontecer nos reservatórios. Essas perdas dependem da regulação e balanço da entrada e

saída de água, geralmente controlados por equipamentos de bloqueio ou controle orientado pela variável de nível do sistema (TARDELLI FILHO, 2004, p. 472).

A maior concentração de perdas físicas está nas redes de distribuição de água, na forma de vazamentos visíveis e de vazamentos inerentes. Mesmo que fosse possível reparar todos os vazamentos detectáveis, ainda sim as redes de abastecimento continuariam a ter perdas. Isso porque os vazamentos inerentes, provocados por registros, hidrantes, juntas mal vedadas, tubos perfurados, rachados ou partidos, demonstrados na FIGURA 4, são imperceptíveis aos equipamentos de detecção (REIS; CHEUNG, 2007, p. 69).

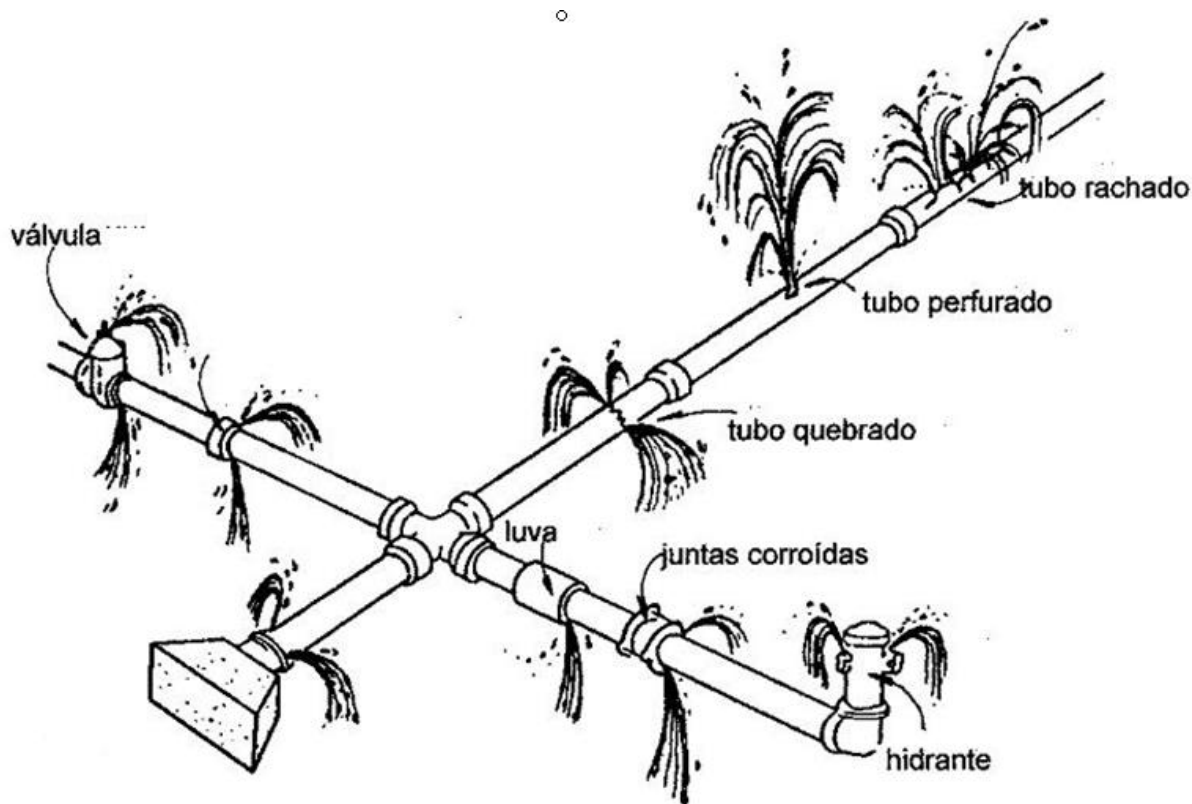


FIGURA 4 – PERDAS FÍSICAS INERENTES
FONTE: SANEPAR.- MASPP (2013)

As perdas aparentes representam a água que o consumidor recebe, porém que não é medida e conseqüentemente não é paga. As ações para controle das perdas aparentes são basicamente, inspeções em ligações inativas, inspeções caça-fraudes, acompanhamento de variações bruscas de consumo e substituição preventiva e corretiva dos hidrômetros, que demonstram a importância em se manter uma medição confiável e abrangente (GALVÃO, 2007, p. 41).

O QUADRO 2, ilustra a caracterização das perdas reais e aparentes anteriormente citadas.

ITEM	PERDAS REAIS	PERDAS APARENTES
Tipo de ocorrência mais comum	<ul style="list-style-type: none"> • Vazamento 	<ul style="list-style-type: none"> • Erro de medição
Custos associados ao volume de água perdido	<ul style="list-style-type: none"> • Custos de produção da água tratada 	<ul style="list-style-type: none"> • Valor cobrado no varejo ao consumidor
Efeito no meio ambiente	<ul style="list-style-type: none"> • Desperdício de recursos naturais • Impactos ambientais devido à necessidade de ampliação da exploração dos mananciais 	<ul style="list-style-type: none"> • Não é relevante
Efeito na saúde pública	<ul style="list-style-type: none"> • Riscos de contaminação 	<ul style="list-style-type: none"> • Não é relevante
Ponto de vista empresarial	<ul style="list-style-type: none"> • Perda de produto “industrializado” 	<ul style="list-style-type: none"> • Perda elevada de receita
Ponto de vista do consumidor	<ul style="list-style-type: none"> • Imagem negativa da empresa, associada ao desperdício e ineficiência 	<ul style="list-style-type: none"> • Não é uma preocupação imediata
Efeitos finais no consumidor	<ul style="list-style-type: none"> • Repasse de custos à tarifa • Desincentivo ao uso racional da água 	<ul style="list-style-type: none"> • Repasse de custos à tarifa • Roubo e fraudes

QUADRO 2 - CARACTERIZAÇÃO GERAL DAS PERDAS
 FONTE: ADAPTADO DE TARDELLI FILHO (2004)

Segundo Covas e Ramos (2007, p. 47), as perdas têm diversos custos associados:

- Custo direto associado à produção do volume de água perdido, perdas comerciais;
- Custos de interrupção e reparos na rede, com danos de imagem;
- Custo social devido à suspensão do abastecimento;
- Custo associado ao risco de contaminação;
- Custos ambientais de utilização ineficiente de recursos hídricos;
- Custos de energia de bombeamento.

Pode-se afirmar que a quase totalidade das companhias de abastecimento de água concentram suas ações para redução e controle de perdas na sua infraestrutura de distribuição, que compreende a rede de distribuição e as ligações prediais, pelo fato das perdas ocorrerem, majoritariamente, nessa parte do sistema (GALVÃO, 2007, p. 28).

No caso do Brasil, deve-se destacar o consumo não faturado e não consumido no caso de favelas. Trata-se de um alto valor de perdas nas metrópoles que precisam ser tratadas em parceria do poder público com as operadoras (ABES, 2013, p. 10).

3.3.2 Indicadores de perdas

Para contextualizar a qualidade dos sistemas de abastecimento de água em relação às perdas, são utilizados alguns indicadores, como por exemplo o Indicador de Perdas Percentual (IP%) e o Indicador de Perdas por Ligação (IPL).

O IP% relaciona o volume produzido (VP), ou seja, a água disponibilizada ao sistema, pelo volume medido (VM), que é a água consumida e devidamente registrada pelos medidores de água dos consumidores. O percentual desta diferença é a água perdida no sistema (TARDELLI FILHO, 2004, p. 465).

Já o IPL representa um indicador volumétrico de desempenho, mais preciso que os percentuais, que relaciona a diferença entre volume disponibilizado e volume utilizado ao número de ligações ativas (ND) e ao período, número de dias (ND) avaliado. Seu valor é representado em litros por ligação e dia (ABES, 2013, p. 12).

Desses dois, o indicador mais utilizado é o indicador de perdas percentual (IP%), que relaciona o volume perdido total com o volume fornecido (TARDELLI FILHO, 2004, 465).

Com base neste indicador, Tardelli Filho (2004, p. 465), apresenta uma classificação, (QUADRO 3), para as empresas de saneamento, de acordo com o índice total de perdas do seu sistema de abastecimento.

ÍNDICE TOTAL DE PERDAS	CLASSIFICAÇÃO DO SISTEMA
Menor do que 25%	Bom
Entre 25% e 40%	Regular
Maior do que 40%	Ruim

QUADRO 3 - CLASSIFICAÇÃO AO ÍNDICE DE PERDAS PERCENTUAL
FONTE: ADAPTADO DE TARDELLI FILHO (2004)

Segundo Reis e Cheung (2007, p. 69), não existem redes totalmente estanques, ou seja, em maiores ou menores proporções, todas vazam. Entretanto, índices de perdas estimados da ordem de 40% do total disponibilizado para o abastecimento, com certeza, são inaceitáveis.

No Brasil as perdas no sistema de abastecimento estão muito altas e segundo o último levantamento realizado pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2011), no país este índice alcança uma média de 38,8%, enquanto no estado do Paraná a média é de 33,1%. Estas perdas têm uma relação

direta com os custos de energia e produtos químicos desperdiçados, além de gerar crescente preocupação com aspectos ambientais e necessidade de maior rigor relativo à legislação ambiental.

Neste contexto, as empresas de saneamento estão sendo conduzidas a uma reflexão porque precisam se reinventar para reduzir ou antecipar os problemas de vazamentos, buscando soluções e inovações tecnológicas que viabilizem o aumento de eficiência no processo produtivo.

No cenário internacional, verifica-se também uma faixa bastante variada de valores para o índice de perdas percentual, (QUADRO 4), atingindo porém valores mínimos inferiores aos verificados no Brasil (MIRANDA, 2006, p. 791).

PAÍSES	IP (%)	FONTE
Tailândia	38,8	Miranda
Brasil	38,8	SNIS
Malásia	36,4	Miranda
Korea	29,3	Miranda
Portugal	18 a 40	Miranda
Finlândia	12 a 25	Miranda
França	10 a 30	Miranda
Polônia	10 a 20	Miranda
Hungria	5 a 37	Miranda
EUA	5 a 37	Miranda
Dinamarca	7,6	Miranda
Alemanha	7,0	Wilk

QUADRO 4 - ÍNDICE DE PERDAS EM DIVERSOS PAÍSES

FONTE: ADAPTADO DE MIRANDA (2006); SNIS (2011); WILK (2013)

Segundo Tardelli Filho (2004, p. 465) a grande desvantagem de se utilizar o IP%, é a dificuldade de comparação de performance entre sistemas com número de ligações e tipos de consumidores diferentes.

3.3.3 Gerenciamento de perdas

O gerenciamento das perdas exige, antes de tudo, o seu conhecimento pleno. Identificar e quantificar corretamente as perdas constitui-se em ferramenta essencial e indispensável para a implementação de ações de combate. Nesse contexto, as inovações tecnológicas facilitam a identificação e possibilitam medições cada vez

mais precisas dos volumes de água perdidos. A redução dos custos desses equipamentos, na medida em que se difundem as novas tecnologias, amplia o acesso para um número maior de operadores (MIRANDA, 2006, p. 789).

Assim, segundo Tardelli Filho (2004, p. 456) a vinculação entre o nível de perdas em uma companhia de saneamento e a sua eficiência operacional é total, ou seja, é de se esperar que os sistemas de abastecimento de água bem operados e mantidos, ou seja, bem gerenciados, possuam baixos índices de perdas.

Cabe-se destacar, no entanto, o contexto amplo da situação das perdas de água em sistemas de abastecimento, onde o gerenciamento das perdas deve ser visto como parte da gestão integrada dos recursos hídricos. As ações de redução e controle das perdas devem levar em conta o planejamento da oferta e da demanda, considerando a disponibilidade de água bruta e o fornecimento de água tratada. Essas ações inserem-se não somente no âmbito restrito dos sistemas de abastecimento, mas sobretudo no contexto mais amplo da conservação da água bruta na bacia (MIRANDA, 2006, p. 790).

Segundo Tardelli Filho (2004, p. 458), o sucesso das ações contínuas para a redução de perdas nas companhias de saneamento conduzem aos seguintes resultados:

- Melhor desempenho econômico da companhia, revertendo tal benefício em tarifas mais baixas aos clientes;
- Postergação de novos investimentos na ampliação dos sistemas de produção, adução e reservação de água.

3.3.4 Sistemas de medição

Os sistemas de medição constituem-se na base fundamental e ferramenta indispensável aos sistemas de abastecimento de água, especialmente quando tratamos do controle de perdas. Eles possibilitam conhecer o funcionamento da rede de abastecimento através da mensuração e controle de seus principais parâmetros de processo, vazão, pressão e nível, viabilizando o aumento da eficiência da operação dos sistemas de abastecimento (VOTRE *et al.* 2014, p. 14).

Somente através da medição é possível conhecer, diagnosticar, alterar e avaliar as diversas situações operacionais em um sistema de abastecimento de água (TARDELLI FILHO, 2004, p. 479).

Segundo Nielsen *et al.* (2003, p. 24), a medição de boa qualidade é aquela que consegue obter os valores justos, ou seja, corretos. Portanto, é necessário que os sistemas de abastecimento de água definam e façam com competência as suas:

- Políticas comercial e tarifária;
- Estratégias comerciais e de faturamento;
- Estratégia de leitura;
- Estratégia de medição;
- Política de aquisição, instalação, manutenção e troca dos medidores de água;
- Gestão do parque de medidores de água.

Porém pode ser necessário medir a vazão nas diversas etapas do sistema de abastecimento de água: captação, adução, tratamento, reservação e distribuição. A avaliação, em termos quantitativos, da produção efetiva de água é fundamental para a operação e gerenciamento adequado do sistema de abastecimento (KURODA; PÁDUA, 2006, p. 724).

O medidor fornece dados operacionais importantes sobre o volume disponibilizado ao usuário e indica potenciais vazamentos, além de servir como inibidor de consumo e estimular a economia do uso da água (GONÇALVES; ALVIM, 2007, p. 15).

Existem diversos tipos de medidores de vazão, com princípios variados de funcionamento e a escolha de um deles dependerá de fatores tais como tipo de fluido, condição e regime de escoamento, precisão e confiabilidade desejada, pressão disponível na linha, custo de aquisição, vida útil, dimensão, facilidades de operação e manutenção (KURODA; PÁDUA, 2006, p. 725).

Segundo Freitas (2011, p. 113), problemas na medição podem levar estratégias de redução de perdas a fracassos quanto ao retorno das ações implementadas. Os principais problemas quanto à medição são:

- Imprecisão dos macro medidores existentes nos sistemas de produção e distribuição de água;
- Má qualidade dos medidores;
- Submedição;
- Dimensionamento inadequado do medidor;
- Detritos nas redes de distribuição;
- Envelhecimento do parque de hidrômetros;
- Inclinação dos hidrômetros.

Portanto, é possível verificar a importância dos sistemas de medição, onde o estabelecimento da cultura de medição é fundamental, garantindo-se a apropriação contínua de parâmetros hidráulicos e elétricos e a possibilidade de elaboração do balanço hídrico, do completo diagnóstico do sistema de abastecimento de água e da sua modelagem hidráulica, com base no real funcionamento do sistema (FRANGIPANI, 2007, p. 2).

3.4 GESTÃO DE PRESSÕES

O controle da pressão de funcionamento de uma rede de distribuição, quer no que se refere ao seu valor médio quer à sua variação temporal, assume cada vez mais um papel determinante no bom desempenho técnico e econômico do sistema e na satisfação das necessidades e conforto dos consumidores. Se por um lado o controle da pressão garante um nível de serviço mais uniforme e permite à entidade gestora a utilização de condutores e acessórios mais econômicos, por outro lado reduz a frequência de ocorrência de rupturas e as perdas de água na rede (COVAS; RAMOS, 2007, p. 57).

A estabilização da pressão reduz a fadiga do material, reduzindo a probabilidade de rompimentos na rede de distribuição. Além de que a redução da pressão é a forma mais rápida e eficaz de reduzir a perda real (TARDELLI FILHO, 2004, p. 471).

Covas e Ramos (2007, p. 58), salientam que entidades gestoras que usam, ou pretendem usar o controle de pressão como parte de sua estratégia de controle de perdas, deverão considerar os seguintes aspectos:

- Importância de manter as pressões com variações mínimas, a relação entre pressão máxima e a taxa de ocorrência de novas fugas e a relação entre pressão e a vazão das fugas existentes;
- Avaliação dos efeitos de controle da pressão na frequência da ocorrência de fugas, na vazão da fuga e no consumo;
- Influência de padrões mínimos de serviço, e da topografia.

Apesar de valores baixos ou elevados da pressão poderem ser a causa de problemas, segundo Covas e Ramos (2007, p. 58), mais preocupante ainda são as oscilações de pressão durante os regimes transitórios que aumentam a vazão das fugas existentes e a probabilidade de ocorrência de mais fugas e rupturas, onde salientam que:

- As perdas aumentam mais com o tempo do que com a pressão;
- A probabilidade de ocorrência de rupturas aumenta mais com a amplitude de oscilação de pressão do que com o seu valor médio;
- A probabilidade de ocorrência de rupturas aumenta com a frequência de oscilação de pressão mais do que com a sua amplitude.

A uniformização da pressão num sistema de distribuição de água poderá ser efetuada, segundo Covas e Ramos (2007, p. 58), através das seguintes ações:

- Setorização da rede em patamares de pressão de acordo a sua topografia e topologia com construção de reservatórios intermediários;
- Instalação de válvulas redutoras de pressão;
- Otimização de esquemas de bombeamento de água;
- Utilização de conversores de frequência com controle da rotação variável.

A setorização da rede dos sistemas de distribuição de água, zonas de pressão, são cada uma das partes em que a rede é subdividida visando impedir que as pressões dinâmica mínima e estática máxima ultrapassem os limites

recomendados e preestabelecidos. Nota-se, então, que uma rede pode ser dividida em quantas zonas de pressão forem necessárias para atendimento das condições técnicas a serem satisfeitas (MEDEIROS FILHO, 2000, p. 129).

Convencionalmente, as zonas de pressão em redes de abastecimento de água potável estão situadas entre 15 e 50 mca (metro de coluna da água), tolerando-se até 60 mca em até 10% da área e até 70 mca em até 5% da mesma zona como pressão estática máxima e até 10 mca em 10% da área e até 8 mca em até 5% da mesma zona para pressão dinâmica mínima. Em circunstâncias especiais, para populações de até 5.000 habitantes, pode-se trabalhar com até 6 mca com justificativas garantindo que não ocorrerão riscos de contaminação da rede (MEDEIROS FILHO, 2000, p. 129).

Na maioria dos sistemas, a pressão noturna pode ser entendida como a pressão estática na rede de distribuição em função de sua mínima demanda, e em consequência, da perda hidráulica praticamente nula. Assim, o registro dessas pressões noturnas pode servir de indicativo de vazamento de médio e grande porte nas redes de distribuição (DEPEXE, 2008, p. 11).

A forma mais eficiente de se controlar a pressão em um sistema de abastecimento de água, segundo Winnischofer (2013, p. 42) é o controle de velocidade da bomba, principalmente quanto mais elevada for a componente de perda de carga dinâmica em relação à carga total do sistema.

Com a utilização de bombas com controle de velocidade, para cada grupo de eletrobomba existe uma relação bem definida entre a vazão e a altura de elevação, curva característica, devendo cada grupo ser escolhido de modo a responder eficientemente, com consumo mínimo de energia e eficazmente, satisfazendo as necessidades às variações de consumo. O funcionamento de um grupo com velocidade de rotação variável é caracterizado por um conjunto de curvas. Estes grupos permitem que, sempre que a vazão diminua a altura de elevação diminua também através da diminuição da velocidade de rotação por forma a manter a pressão quase constante numa secção de referência a jusante. Assim o grupo ajusta a sua velocidade de rotação às necessidades de consumo, garantindo uma pressão uniforme ao longo do dia (COVAS; RAMOS, 2007, p. 60-61).

A eliminação do excesso de pressão no sistema reduz proporcionalmente as perdas reais de água e o consumo, obtendo-se assim um duplo ganho com o uso do conversor de frequência: redução da demanda e consumo elétrico e redução do

volume disponibilizado, perdas reais de água. Em relação à pressão de jusante, o conversor de frequência produz o mesmo efeito que uma válvula redutora de pressão, só que ajustando a velocidade de rotação do conjunto de bombeamento para produzir maior ou menor vazão conforme a demanda exija (GOMES; OTERO; COURA, 2009, p. 311).

O objetivo do controle de vazão é manter a pressão constante ou em um valor pré-estabelecido. Caso esse controle não seja efetuado, a medida que a demanda diminui, a pressão de descarga da bomba aumenta, provocando vazamentos na rede, pressões elevadas nas áreas com cotas mais baixas chegando, às vezes, a comprometer a resistência das tubulações. Entretanto, se a demanda for aumentada, a pressão da bomba irá diminuir, prejudicando os consumidores localizados em pontos altos (TSUTIYA, 2007, p. 106).

Uma forma de garantir que a gestão e o controle de pressão funcionem de forma otimizada, padronizada e com resposta rápida quanto às variações de pressão que o sistema necessita, é efetuar este controle através dos recursos da automação, que faz a leitura em tempo real das variáveis de pressão e vazão, acionando os conversores de frequência dos sistemas de bombeamento para atender ao valor preestabelecido, *set point* da variável controlada (VOTRE *et al.* 2014, p. 17).

3.5 SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO

Os processos industriais são variados, englobam diversos tipos de atividades e exigem controle preciso dos produtos gerados. Nesse contexto existem a automação de manufatura, voltada a uma linha de produção e fabricação de bens de consumo como produtos manufaturados, montagens de peças e equipamentos e as indústrias de processos que visam controlar as variáveis do processo como pressão, vazão, nível, temperatura, posição e densidade, permitindo por exemplo, minimizar a variabilidade na qualidade do produto final e manter o processo dentro de limites seguros, resultando assim em redução de custos de produção. São exemplos de indústrias de processo, sistemas de saneamento, óleo, gás e de geração de energia (VIANNA, 2008, p. 7).

A tecnologia de automação, é uma ferramenta poderosa para a obtenção da garantia da qualidade de processos, bem como, visa uma otimização da rotina

operacional que pode ser traduzida em aumentos de produtividade e redução de custos operacionais (SILVA; TSUTIYA, 2004, p. 607).

A automação consiste em um conjunto de técnicas por meio das quais se constroem sistemas ativos capazes de atuar com eficiência maximizada pelo uso de informações recebidas do meio sobre o qual atuam (SENAI-PE, 2008, p. 9).

A FIGURA 5 mostra o ciclo de funcionamento dos sistemas automatizados.

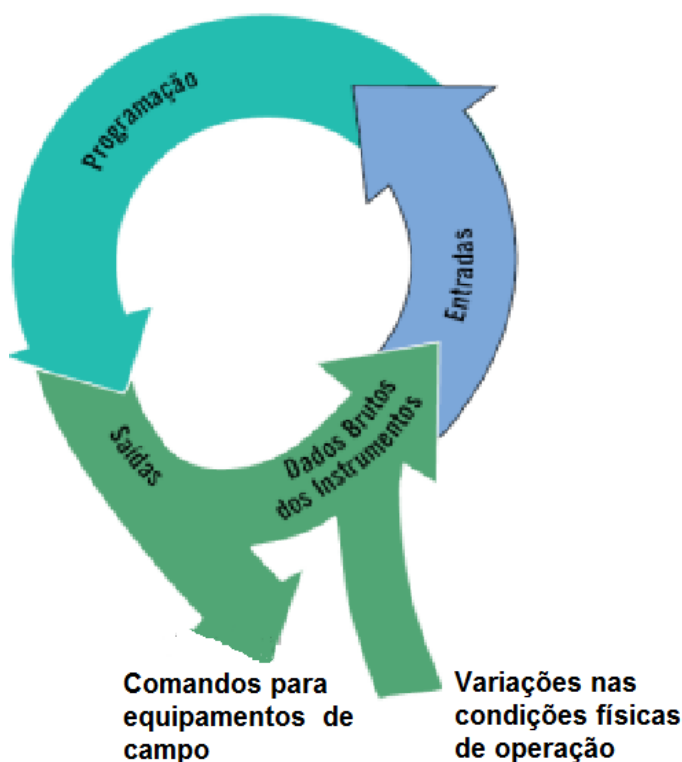


FIGURA 5 – CICLO DE PROCESSAMENTO DA AUTOMAÇÃO
FONTE: Adaptado de Ribeiro (2012)

Quando há variações nas condições físicas de operação, estas alteram os dados brutos dos instrumentos de campo, que enviam um sinal elétrico referentes a estes valores para a entrada do sistema de automação, (FIGURA 5), o sistema calcula a ação corretiva mais apropriada para a execução algorítmica de um programa, na etapa de programação e disponibiliza na saída o comando para acionamento dos equipamentos de campo, conforme programação executada (SENAI-PE, 2008 p. 9).

Para que a automação tenha êxito, é de fundamental importância o conhecimento do processo que se quer controlar, pois só assim poderá ser feita uma escolha ótima dos parâmetros a serem monitorados e controlados. Assim, a automação deve ter como premissas básicas, uma elaboração conjunta do projeto

entre o quadro técnico especializado e o operacional, uma escolha acertada da instrumentação que é a responsável pela confiabilidade dos dados coletados, um Controlador Lógico Programável (CLP) adequado às intervenções necessárias para um bom desempenho do processo e a otimização contínua do sistema implantado (SILVA; TSUTIYA, 2004, p. 608).

3.5.1 Instrumentação

Ao longo da história da evolução industrial têm surgido processos cada vez mais complexos, que não seriam viáveis sem o uso da instrumentação. De modo geral, esta se refere aos dispositivos que estão diretamente nas instalações ou equipamentos, sensores e conversores (BEZERRA; SILVA, 2009, p. 206).

A instrumentação é a responsável pela medição das variáveis do processo, que significa converter grandezas físicas como nível, pressão, vazão, posição e quantidade de cloro na água, em sinais elétricos padronizados, corrente, tensão ou resistência ôhmica. Os instrumentos de medida são os elementos primários do controle, ou seja, os responsáveis pela entrada de informações no controlador (SILVA; TSUTIYA, 2004, p. 591).

Um importante elemento da malha de controle é o sensor, o qual é o responsável pela interface do sistema de controle com o processo real (PAIOLA; TEIXEIRA, 2011, p. 21).

Também são inseridos no grupo de dispositivos de instrumentação os transdutores e transmissores. Pode-se considerar um transdutor um equipamento que faz a interface entre o sensor e o circuito de controle ou, eventualmente, entre o controle e o atuador. Já o transmissor é um equipamento que sente uma variável de processo através de um sensor ou elemento de medição e tem uma saída cujo valor de regime permanente varia apenas como uma função pré-determinada da variável de processo. Geralmente o sinal usado pelos equipamentos de instrumentação é o sinal de corrente elétrica na faixa de 4 a 20 mA (BEZERRA; SILVA, 2009, p. 206).

Segundo Bezerra e Silva (2009, p. 207), há uma série de características relacionadas aos instrumentos que devem ser consideradas na hora da sua seleção. Os principais termos técnicos utilizados, conforme QUADRO 5, são:

TERMO TÉCNICO	DESCRIÇÃO
Amplitude (<i>Span</i>)	Diferença algébrica, em módulo, entre os valores superior e inferior da faixa de medição nominal.
Erro	Diferença entre o valor lido pelo instrumento e o valor real da variável. Pode ser negativo ou positivo dependendo da indicação do instrumento.
Estabilidade	Esta relacionada com a flutuação do sinal de saída do dispositivo.

QUADRO 5 – TERMOS TÉCNICOS INSTRUMENTAÇÃO

FONTE: ADAPTADO DE BEZERRA E SILVA (2009)

Os sensores e equipamentos de instrumentação presentes em um sistema automatizado para leitura e controle das variáveis, (FIGURA 6), podem ser definidos em três grupos: instrumentação discreta; instrumentação analógica e instrumentação digital.

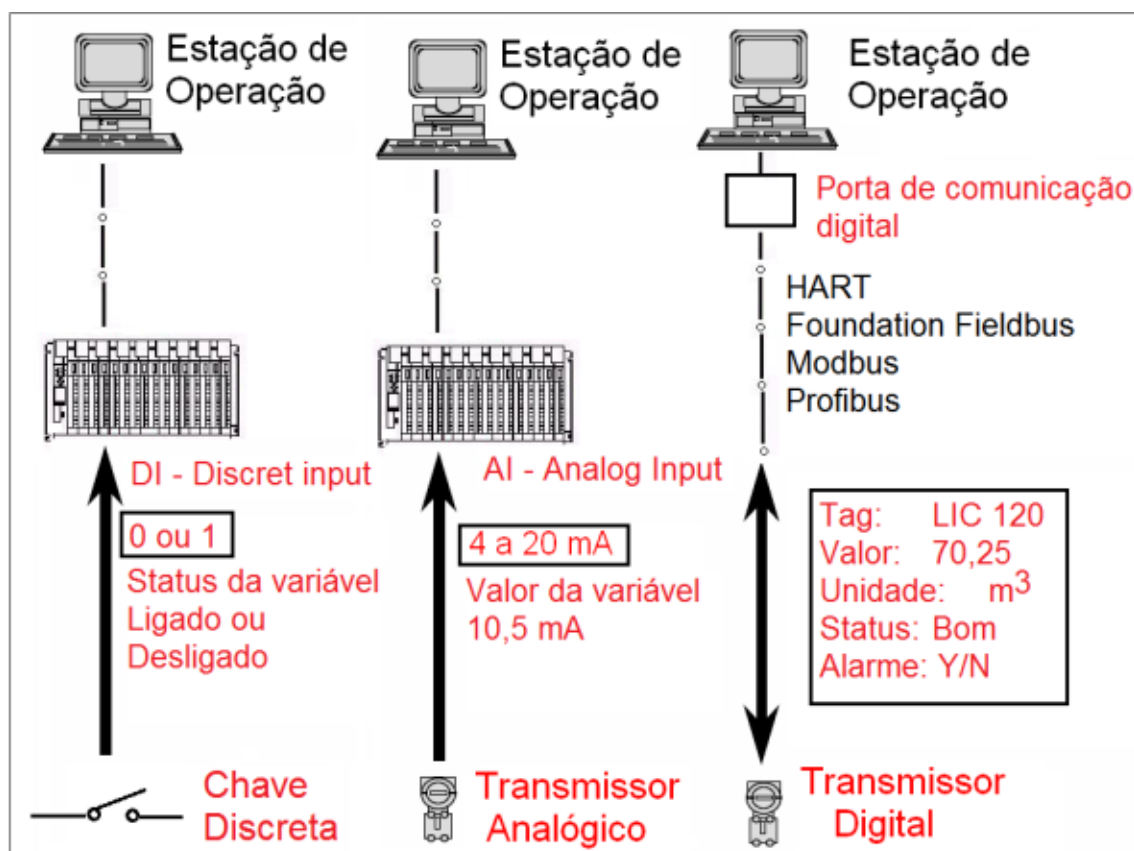


FIGURA 6 - SINAIS DE INSTRUMENTAÇÃO

FONTE: Ribeiro (2012)

Os sinais dos instrumentos discretos só podem adquirir dois estados, por exemplo: ligado ou desligado, aberto ou fechado e verdadeiro ou falso, caracterizando uma variável discreta. São exemplos de instrumentos discretos:

pressostato, chave de nível, termostato e chave fim-de-curso (SILVA; TSUTIYA, 2004, p. 591).

Os sinais analógicos apresentam sinais contínuos que são padronizados para trabalhar numa determinada faixa e são bastante utilizados para representar, por relação linear, grandezas contínuas e de evolução temporal contínua. Os sinais mais utilizados para representação analógica são estabelecidos em tensão 0 a 10 V ou corrente 4 a 20 mA (BEZERRA; SILVA, 2009, p. 208).

Segundo Tsutiya alguns exemplos de instrumentos analógicos são: transmissor de nível, transmissor de vazão, transmissor de pressão, transmissor de posição e analisador de cloro (TSUTIYA, 2004, p. 591).

Já na instrumentação digital, os instrumentos são ligados a uma rede integrada de automação e transmitem seus dados, informações e medições, por meio de protocolos digitais, ou seja, por um conjunto de pacotes de dados de (16, 32 ou 64) bits, que irão representar o valor contínuo e informações de diagnóstico das variáveis medidas. Alguns exemplos de instrumentos digitais são: transmissores de nível, pressão, vazão e posição com tecnologias digitais: *Hart*, *Profibus*, *Foundation Fieldbus* e *Modbus* (SILVA; TSUTIYA, 2006, p. 599).

Todo sistema de instrumentação deve ser calibrado periodicamente. O período de calibração deve ser definido exclusivamente pelo usuário, que irá consultar o que diz a norma, os fabricantes, os laboratórios, a severidade de uso, o tipo do instrumento, o nível do pessoal de operação e manutenção envolvidos e a consequência de uma não conformidade devida ao instrumento descalibrado (RIBEIRO, 2007, p. 40).

3.5.1.1 Variáveis do Processo de Instrumentação

As principais variáveis de instrumentação presentes em um sistema de abastecimento de água, cujo monitoramento e controle permitem minimizar a variação na qualidade do produto final, reduzir os custos de produção, manter o processo dentro de limites seguros e otimizar o processo são: pressão, nível e vazão. Para os valores de pressão e nível em sistemas de abastecimento de água é utilizado a unidade de Metro por Coluna de Água (mca), que equivale a pressão exercida por uma coluna de 1 mca. Transformando essa unidade para o sistema

internacional de medidas tem-se que 1 mca equivale a 9806,65 Pa ou a 0,0980665 bar (SENAI-RS, 2012, p. 19).

3.5.1.2 Pressão

A pressão pode ser definida como a ação de uma força contra uma força contrária. Ela tem a natureza de um empuxo distribuído uniformemente sobre uma superfície plana no interior de um recipiente fechado. Usualmente, exprime-se pressão em termos das unidades de força e área, ou mediante a altura de uma coluna de líquido em cuja base esteja sendo aplicada a mesma pressão, ou seja, mca (BEGA, 2003, p. 21).

A medição e controle de pressão é a variável de processo mais usada na indústria de controle de processo nos seus mais diversos segmentos. Além disso, através da pressão é facilmente possível inferir uma série de outras variáveis de processo, tais como nível, volume, vazão e densidade (CASSIONATO, 2007, p. 23).

Portanto, assim como um manômetro que mede a coluna de água de um reservatório, um transdutor de pressão pode ser instalado na parte inferior de um reservatório, obtendo-se desta forma, um sinal elétrico proporcional à pressão e nesse caso proporcional ao nível (SENAI-RS, 2012, p. 72).

Todo sistema de medição de pressão é constituído pelo elemento primário, o qual estará em contato direto ou indireto ao processo, onde se tem as mudanças de pressão e pelo elemento secundário, transmissor de pressão, que terá a tarefa de traduzir esta mudança. Na automação a representação do transmissor de pressão é dada por (PT), em inglês *Transmitter Pressure* (CASSIONATO, 2007, p. 23).

Basicamente os transmissores de pressão podem ser classificados em pneumáticos ou eletrônicos. Os dois tipos de transmissores baseiam seu funcionamento na deformação que os elementos mecânicos elásticos, sofrem quando submetidos a uma pressão ou esforço. Esta deformação, que é proporcional à pressão aplicada, é convertida através de um transdutor em um sinal pneumático ou eletrônico padronizado, que é enviado para indicação ou transmissão para o controle à distância (BEGA, 2003, p. 40).

3.5.1.3 Nível

A medição de nível é uma variável importante nos processos, pois permite ter o conhecimento de quantidade de produto em estoque, em processo e de definir limites de segurança num processo (SENAI-RS, 2012, p. 27).

O nível é considerado a altura de uma coluna líquida, dentro de um ambiente fechado. Para que sua medição seja precisa e confiável, devem-se conhecer os parâmetros físicos do tanque, as propriedades físicas e químicas do líquido cujo nível se quer medir, as características eletrônicas dos sinais digitais de comunicação e finalmente escolher o melhor sistema adequado às necessidades propostas (RIBEIRO, 2007, p. 32).

Os instrumentos de medição de nível podem ser classificados, pela forma como medem o nível, em instrumentos de medida direta e inferencial.

Os instrumentos de medida direta medem diretamente a distância entre o nível do produto que se quer medir e um referencial previamente definido. A medida direta desta distância pode ser feita, pela observação visual direta, através de comparação com uma escala graduada, trenas, ou pela determinação da posição de um detector, como um flutuador, sobre a superfície do produto que se quer medir, ou pela reflexão de ondas ultrassônicas pela superfície do produto. Na automação a representação do transmissor de nível é dada por (LT), em inglês *Level Transmitter* (BEGA, 2003, p. 143).

Enquanto, os instrumentos de medida inferencial determinam a posição da superfície livre do produto cujo nível se quer medir, através da medida de outra grandeza física a ela relacionada. Nessa classe, incluem-se os instrumentos que medem o nível através da medida da pressão da coluna hidrostática desenvolvida por um líquido, ou ainda, os que medem através da variação de peso do equipamento que contém o produto cujo nível se quer medir (BEGA, 2003, p. 143).

Segundo Ribeiro (2007, p. 32), há vários parâmetros para a escolha do melhor método de medição de nível, tais como:

- Unidade de interesse: altura, volume, peso, massa, interface;
- Tipo do produto: líquido ou sólido, limpo ou com sujeiras e contaminantes;

- Exigência de metrologia: medição operacional ou para transferência de custódia;
- Tanque ou vaso pressurizado ou à pressão atmosférica;
- Escolha do sensor móvel ou fixo.

3.5.1.4 Vazão

A vazão é definida como o volume de fluido, por unidade de tempo, que passa por um conduto. Conhecida a seção transversal, a medição da vazão permite, por exemplo: determinar a quantidade de fluido que passou por um ponto determinado (SENAI-RS, 2012, p. 28).

Entre as variáveis mais frequentemente medidas, a vazão é a que requer os recursos tecnológicos mais diversos para realização de medidores e transmissores. A medição de vazão encontra importantes aplicações no transporte de fluidos, contribuindo para a qualidade e a otimização de controles de processos. Na automação a representação do transmissor de vazão é dada por (FT), em inglês *Flow Transmitter* (DELMÉE, 2003, p. 49).

O conhecimento das principais características dos fluidos é indispensável para abordar todo estudo sobre medidores de vazão, seja para entender seu princípio de funcionamento, ou para justificar os limites de suas aplicações (DELMÉE, 2003, p. 51).

A quantificação dos volumes produzidos, distribuídos e consumidos é feita através de medidores de vazão, de variados portes e princípios de funcionamento (TARDELLI FILHO, 2004, p. 481).

A quantidade do fluido pode ser medida em vazão volumétrica, volume dividido pelo tempo (m^3/h) e (L/s) ou em vazão mássica, massa dividida pelo tempo (kg/h). Quando se trata de vazão volumétrica, especialmente nos casos de fluidos compressíveis, ainda é necessário especificar se o volume é referido às condições de temperatura e pressão de operação, ou se é convertido às condições de referência (DELMÉE, 2003, p. 49).

Segundo Tardelli Filho (2004, p. 481), os principais tipos de medidores de vazão são:

- Turbina: portátil, prático, usado para tubos sob pressão maiores que 50 mm. Possui precisão média de 2%. Sua velocidade é determinada como uma proporção do número de rotações de uma hélice inserida no fluxo;
- Eletromagnético: não é inserido no fluxo. É ligado junto às flanges da tubulação, portanto sem perda de carga. Mede fluxos em grandes diâmetros com boa precisão e é usado para toda a faixa de diâmetros. Sua precisão varia de 0 a 1,2%. Funciona pelo princípio da lei de indução eletromagnética de Faraday, que rege a obtenção da velocidade do fluxo. Quando um campo magnético é aplicado perpendicularmente à direção do fluxo, é gerada uma força eletromotriz proporcional à velocidade média do fluxo;
- Ultrassônico: não é inserido no fluxo, podendo ser facilmente instalado sem interromper o fluxo. É usado para toda a faixa de diâmetros. Sua precisão varia de 1 a 2%. Sua velocidade é calculada através da emissão de pulsos ultrassônicos no fluxo da água e os correspondentes tempos de trânsito, que comparados com o tempo no líquido estacionário, permitem determinar a velocidade média do fluxo;
- Hidrômetro: é o mais utilizado para medir o consumo nos imóveis. Possui ampla gama de tamanhos e possui erros sensíveis para baixas vazões. Possui uma precisão em torno de 2%. Seu princípio de medição consiste na obtenção do volume de água que atravessa uma seção, proporcionalmente ao número de revoluções de uma turbina;

3.5.2 Atuadores

Atuadores são equipamentos que convertem os sinais elétricos vindos do controle em ações físicas no processo, também são considerados os elementos finais do controle (TSUTIYA, 2004, p. 591).

Segundo Bezerra e Silva (2009, p. 206), os atuadores são dispositivos que controlam o movimento ou a ação mecânica de um determinado dispositivo, geralmente atendendo a comandos que podem ser manuais ou automáticos. São exemplos de atuadores: motores, bombas, agitadores e válvulas.

3.5.3 Controladores lógicos programáveis

O CLP é um dispositivo físico eletrônico baseado em um microprocessador que desempenha funções de controle de diversos tipos e níveis de complexidade (BEZERRA; SILVA, 2009, p. 227).

Nele são realizadas funções de sequenciamento e intertravamento elétricos por meio de comparações, contagens, temporizações e controles, em conformidade com um programa específico armazenado em memória interna programável pelo usuário para realizar funções de controle, comando e supervisão de máquinas ou processos, com *hardware* e *software* compatíveis com as aplicações (SILVA; TSUTIYA, 2004, p. 588).

O controle PID (Ação Proporcional, Integral e Derivativa) é o mais completo tipo de controle utilizado em sistemas de automação. Cada ação deste processo funciona da seguinte maneira: A ação proporcional (P) é a responsável por eliminar as oscilações no resultante do controle, oscilações estas formadas por controles ON e OFF repetidamente. Disso resulta que um controlador (P) reage sem atraso a um desvio de controle e só gera uma variável manipulada quando se apresentar um desvio. A ação integral (I) vai atuar no processo enquanto existir uma diferença entre o valor desejado e o valor obtido no processo, atuando de forma lenta até eliminar esta diferença. São usados para controlar completamente os desvios de controle em cada ponto de operação. Enquanto a ação derivativa (D) atua no processo de modo a fornecer uma correção antecipada do desvio em relação ao tempo no processo, diminuindo assim o tempo de resposta da correção (SIEMENS, 2013, p. 18-22).

A estrutura do CLP, (FIGURA 7), é composta segundo Silva e Tsutiya (2004, p. 590) por:

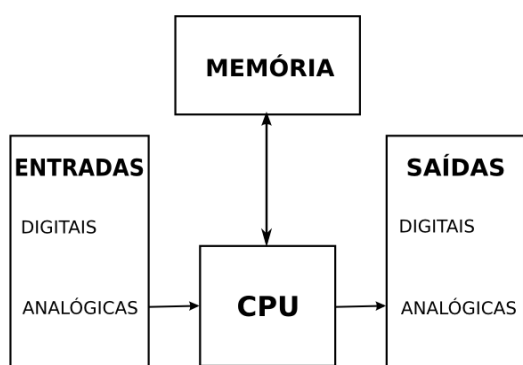


FIGURA 7 – ESTRUTURA DO CLP
FONTE: O autor (2014)

- CPU ou UCP (Unidade Central de Processamento): é a responsável pela tomada de decisões. Através do programa a CPU analisa o estado das entradas e altera o estado das saídas;
- Memória: é responsável pelo armazenamento de todas as informações necessárias ao funcionamento do CLP;
- Entradas e saídas: são os meios de comunicação do CLP com o processo a ser controlado. As entradas recebem os sinais do campo e os transformam em sinais digitais para serem processados pela CPU. Após o processamento, os dados enviados pela CPU (digitais) são convertidos pelas saídas em sinais elétricos para acionamentos.

Geralmente, as famílias de CLP's são definidas pela capacidade de processamento de um determinado número de pontos de entradas e saídas (ES) digitais e analógicas, que correspondem à conexão do controlador aos sensores e atuadores do processo. As entradas e saídas discretas apresentam dois níveis lógicos: "0" ou "1", ligado ou desligado, enquanto que as entradas e saídas analógicas apresentam sinais contínuos que são padronizados para trabalhar numa determinada faixa, normalmente 4 a 20 mA (corrente elétrica) ou 0 a 10 V (tensão elétrica). Quanto aos canais de comunicação digitais, os CLP's podem se conectar à instrumentos digitais, interface de operação (IHM), computadores, outros CLP's e unidades de entradas e saídas remotas. Os protocolos de comunicação mais comuns são o Modbus e o PROFIBUS (BEZERRA; SILVA, 2009, p. 229-230).

O princípio de funcionamento do CLP, (FIGURA 8), é baseado em três passos e após a partida, executará as seguintes tarefas (SENAI-PE, 2008, p. 24):

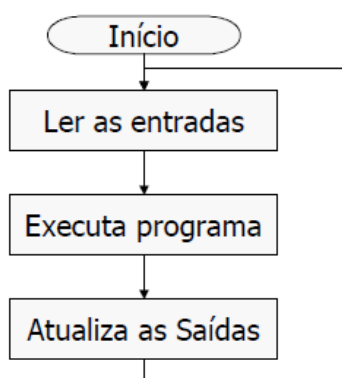


FIGURA 8 – FLUXOGRAMA DE SCAN DO CLP
FONTE: Adaptado de SENAI-PE (2008)

Após a partida, início, o CLP executará as seguintes tarefas:

1. Transferirá os sinais existentes na interface de entrada para a memória de dados (RAM).
2. Iniciará a varredura do *software* aplicativo armazenando na memória de programa (SCAN), utilizando os dados armazenados na memória de dados. Dentro deste ciclo, executará todas as operações que estavam programadas no software aplicativo, como intertravamentos, habilitação de temporizadores/contadores, armazenagem de dados processados na memória de dados.
3. Concluída a varredura do software aplicativo, o CP transferirá os dados processados (resultados de operações lógicas) para a interface de saída. Paralelamente novos dados provenientes da interface de entrada irão alimentara memória de dados.

Segundo Silva e Tsutiya (2004, p. 588), o CLP possui um *software* específico para automação e uma construção física que atende aos requisitos de operação em ambientes indústrias.

Esses *softwares* possuem uma linguagem que permite programar no controlador as lógicas e comandos para o funcionamento de um processo, além de apresentarem uma série de facilidades de programação e testes do programa, possibilitando inclusive a realização de simulações, forçamento de entradas e uso de ferramentas avançadas de edição. As linguagens mais usuais, abrangem o histograma de contatos (*Ladder*), o diagrama de blocos funcionais, a lista de instruções lógicas e a linguagem estruturada *Grafcet* (FINKEL, 2003, p. 480).

3.5.4 Redes de comunicação

Em uma máquina ou processo industrial, coexistem muitos dispositivos e equipamentos destinados ao controle, como CLP's, sensores, transmissores e atuadores. O desenvolvimento das redes industriais visa unir todos esses dispositivos, de forma a permitir uma interação funcional que aumente o rendimento e permita o surgimento de novas oportunidades de implantação de funções mais avançadas (FINKEL, 2003, p. 514). As vantagens são:

- Visualização e supervisão do processo de produção;
- Aquisição de dados do processo mais eficiente e rápida;
- Melhora do rendimento do processo;
- Aumento do intercâmbio de dados de processo entre setores e departamentos distintos, com maior velocidade;
- Programação remota, sem acesso físico a dispositivos de chão de fábrica.

Devido ao crescimento tecnológico, a demanda por redes de campo para a conexão de dispositivos inteligentes cresce substancialmente. Os principais argumentos para o uso destas tecnologias se concentram na minimização dos custos decorrentes principalmente pela redução de cabeamento, redução no custo de manutenção do sistema, além de promover o acesso a uma maior quantidade de informação para a operação e diagnóstico (GOMES; RAMOS; NAPOLITANO, 2013, p. 26).

Nas redes digitais os equipamentos e instrumentos devem ser segregados hierarquicamente para se estabelecer as conexões mais adequadas a cada área, se estabelecendo níveis de implantação. Nessas redes os dados trafegam em “pacotes”, cujo tamanho, definem a finalidade da rede e o tipo de aplicação para a qual ela é mais conveniente (FINKEL, 2003, p. 514-515).

A arquitetura de uma rede de automação e a forma de interligação entre os componentes da rede basicamente podem ser centralizadas ou distribuídas (BEZERRA; SILVA, 2009, p. 213).

- Arquitetura centralizada: é aquela aonde todos os sinais vão para um único local, que são os sistemas computacionais centralizados;
- Arquitetura distribuída: só é viável, se todos os integrantes do sistema puderem trocar informações entre si de modo rápido e confiável. Nesse tipo de arquitetura, os controladores ou módulos de aquisição ficam próximos à instrumentação. Logo, os controladores e módulos de entrada e saída são interligados em redes para trocarem dados entre si e com o sistema de supervisão.

A partir das redes digitais é possível, por exemplo, em um único par de fios, alimentar e transferir dados entre vários instrumentos de campo e de sala de controle, simultaneamente, fazendo a aquisição de dados, o controle da malha, o diagnóstico dos instrumentos e o comando de atuação dos equipamentos (FINKEL, 2003, p. 516).

3.5.5 Sistema de comunicação por telemetria

O conjunto de equipamentos e programas utilizados para propiciar o trânsito de informações entre os diversos níveis hierárquicos e participantes de um sistema de automação distribuído é chamado de rede de comunicação, onde os equipamentos responsáveis pela aquisição de dados dos sistemas, CLP's e Unidades Terminal Remota (UTR's), utilizam-se das tecnologias de telemetria para trafegar informações a longas distâncias para comunicação com as áreas do sistema distribuído (BEZERRA; SILVA, 2009, p. 211).

A telemetria é a plataforma por onde as informações fluem, podendo circular entre as estações remotas e das unidades remotas aos centros de controle, nas quais podem ser escolhidas diversas tecnologias de comunicação, como *modems* conectados por linhas privadas de telefonia, rádios que se comunicam via frequências irradiadas a grandes distâncias, sistemas GPRS de tecnologia de celular oferecidas pelas operadoras ou fibra óptica com altas taxas de velocidade (TROJAN; KOVALESKI, 2004, p. 7).

As diferentes tecnologias de telemetria utilizadas podem ser definidas, segundo Alfacom (2006, p. 3-4) como:

- Linha Privativa: serviço fornecido por companhias telefônicas, destinado à interligação de dois ou mais pontos e que permite a conexão de equipamentos em velocidades que podem variar de 1,2 kbps a 2 Mbps. O custo da utilização da linha é fixo e a disponibilidade do meio de comunicação é de 100% do tempo;
- Rádio Modem: funcionamento em faixas canalizadas, onde cada estação tem de ser licenciada pela Anatel ou em faixas destinadas à operação de transceptores, que utilizam a técnica do espalhamento espectral, ou *spread spectrum*, dispensando o licenciamento dentro

de certas condições. Os enlaces diretos possibilitam comunicação a distâncias desde alguns poucos metros até mais de 30 km. Utilizando repetidoras, as distâncias podem ser estendidas a centenas de quilômetros, porém devem ser consideradas as obstruções devido a relevo e edificações para a viabilidade dos enlaces;

- Celular via GPRS: Essa tecnologia oferece conexão contínua sem fio com redes de dados e permite acessar os mais diversos serviços de informações e entretenimento. A tecnologia GPRS dá acesso à Internet e permite que seja configurada uma rede de supervisão e controle sem limites de distância e número de estações, bastando que as áreas de interesse sejam atendidas pela infraestrutura da telefonia celular. Esse serviço tem um custo proporcional ao número de *bytes* trafegados e sua implementação mais usual consiste em um computador rodando um software de supervisão, conectado à internet, por acesso em banda larga e com IP (*internet protocol*) fixo. As remotas se comunicam com a central por meio de módulos celulares e assumem endereços de IP variáveis atribuídos pela operadora de telefonia celular. Quando a remota assume um novo IP, essa se reporta à central e informa o novo endereço;
- Os cabos óticos são construídos com materiais cristalinos à base de vidro, plástico e sílica. Ao invés de conduzir corrente elétrica, conduzem luz. Suas propriedades isolantes, são imunes à interferência eletromagnética e a diferenças de potencial elétrico, que são causa de danos por surto. Apesar do diâmetro pequeno, nas fibras óticas são capazes de trafegar grande quantidade de dados.

A escolha do meio de comunicação está associada a fatores como distância entre as estações, atenuação do sinal, imunidade a perturbações externas e a velocidade das informações (BEZERRA; SILVA, 2009, p. 212).

Segundo Miyoshi e Sanches (2006, p. 57), os sistemas de rádio são os sistemas de telemetria comumente utilizados no saneamento para controle e monitoração de VRP's, ETA's e unidades remotas. Eles são utilizados e implantados em quantidade cada vez maior e em conjunto com os sistemas de fibra ótica, sendo um dos principais meios de transmissão largamente empregados.

A FIGURA 9 demonstra um sistema de comunicação da SANEPAR - Sistema Iraí, onde é utilizado os sistemas de rádio para comunicação entre os sistemas remotos. Os sistemas CR Santa Candida, CR Guarituba e CR Colônia Farias enviam dados para o CR Guarani. Do CR Guarani os dados são enviados para o CR Jacob Macanham e deste para o sistema principal localizado na ETA Iraí.

Essa configuração é importante, pois como temos elevatórias nos reservatórios que recalcam água de um reservatório para o outro, o controle remoto do valor de nível é importante para segurança operacional e comandos de ligar e desligar das elevatórias.

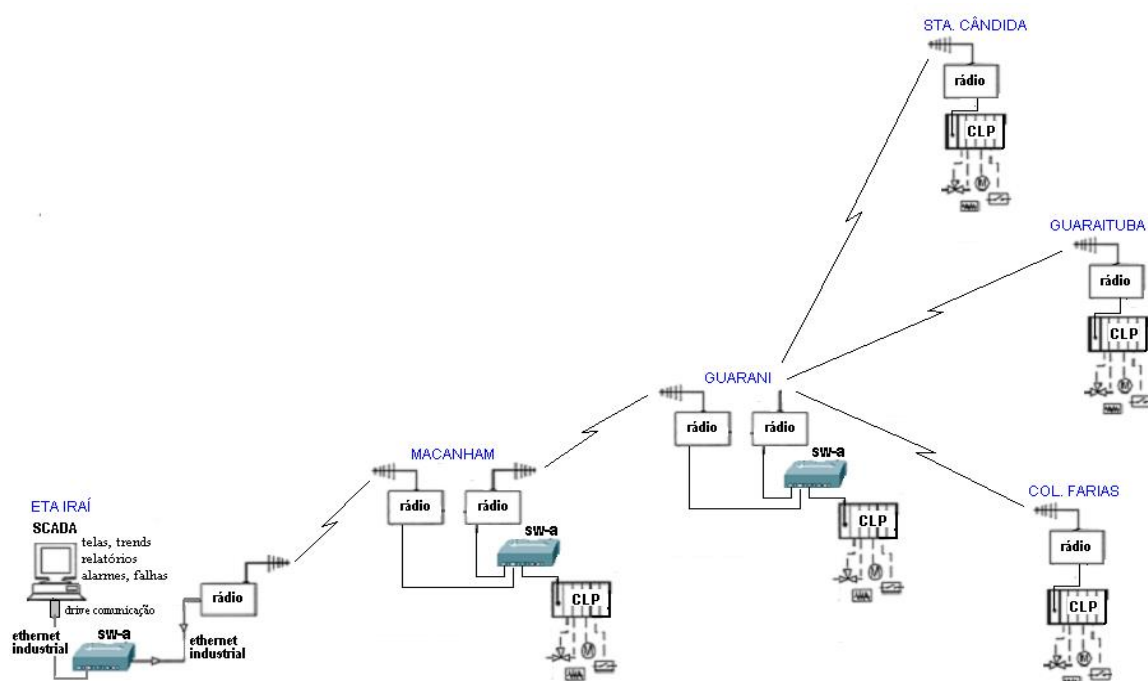


FIGURA 9 – SISTEMA DE TELEMETRIA
FONTE: Marques (2012)

As ligações via rádio apresentam vantagens não somente no caso de regiões não desenvolvidas e inacessíveis, como também no estabelecimento de forma rápida de uma rede flexível e adaptada às condições topográficas e organizacionais, onde muitas vezes o rádio-enlace aparece como única solução adequada, especialmente nos casos de regiões densamente povoadas, em que o lançamento de cabos enfrenta dificuldades quase que insuperáveis de direitos de propriedade e licenças de trajeto. Em termos de custos, quando não existe nenhuma infra-estrutura de rádio ou fibra, o custo e prazo de implantação de rádio são menores, exceto *links* muito curtos, centenas de metros (MYOSHFI; SANCHES, 2006, p. 57).

3.5.6 Interface homem maquina

A Interface Homem Máquina ou simplesmente (IHM) dos CLP's é utilizada para operação e processos, substituindo os dispositivos de interface convencionais, tais como botoeiras sinaleiros e *displays* digitais localizados no painel elétrico. Esta interface também é comum em equipamentos eletrônicos, como conversores de frequência, soft-starter (BEZERRA E SILVA, 2009, p. 231).

Em sistemas que possuem grande quantidade de CLP's ou quando o controlador está muito distante da estação central de supervisão e controle, é necessário algum meio de comunicação entre o operador e o controlador. Nestes casos, costuma-se utilizar IHM's locais, permitindo que o operador supervisione o processo através de um display ou monitor de vídeo e modifique parâmetros de controle localmente, através de comandos simples dados por um teclado ou por toque na tela (SILVA; TSUTIYA, 2004, p. 605).

Em conjunto com o CLP, as IHM's podem ser configuradas para enviarem sinais de atuação ou simplesmente monitorar o sistema. Segundo Bezerra e Silva (2009, p. 231), as principais informações e funções esperadas das IHM's são:

- Diagnóstico e apresentação de falhas e avisos;
- Seleção do modo de operação - automático ou manual;
- Ferramentas para operar em modo manual;
- Possibilidade de alteração ou criação da programação do CLP;
- Apresentação de dados quantitativos e qualitativos sobre os processos.

3.5.7 Supervisório

Os *softwares* de supervisão e controle são programas para computadores que consultam as memórias dos CLP's via interface de comunicação, podendo apresentar telas gráficas animadas do processo, gráficos de tendências, relatórios de alarmes, históricos de operação, exportação de bancos de dados de processo, alteração de parâmetros de processo e edição do programa dos controladores. Normalmente ficam em estações de trabalho, computadores dedicados a uma função, distante do processo controlado e são usados para supervisionar o funcionamento do sistema como um todo (SILVA; TSUTIYA, 2004, p. 605).

Genericamente, os supervisórios são estruturados ao redor de um núcleo (*kernel*), que coordena a aquisição de dados dos controladores programáveis, instrumentos e medidores através de elementos conhecidos como *drivers de comunicação* (OPC). O mesmo *kernel* se encarrega de distribuir esses dados aos módulos gráficos, telas gráficas, gráficos de tendência, alarmes e registro histórico ao banco de dados (ZAMPRONHA, 2006, p. 12).

Segundo Silva e Tsutiya (2004, p. 605), os softwares de supervisão e controle são compostos de vários módulos:

- Base de dados: responsável pelo armazenamento dos dados relativos às entradas e saídas dos controladores, resultados de cálculos, parâmetros do processo e toda e qualquer informação que interfira no processo que deva ser registrada. Normalmente possui interfaces de comunicação com os controladores interligados ao sistema e com bancos de dados corporativos;
- Sistema de alarmes e eventos: realiza a monitoração dos dados existentes na base de dados e registra as ocorrências relevantes como alarmes ou eventos. Além disso, registra os momentos de ocorrência do alarme, reconhecimento pelo operador e normalização do valor indicando, inclusive quem é o operador no instante da ocorrência;
- Sistema de segurança: controla o acesso às funções do sistema baseado em um conjunto de senhas. É possível configurar para cada senha quais são os níveis de acesso e as limitações de cada usuário;
- IHM: parte gráfica do programa, responsável pela exibição dos dados em forma de figuras que representam os componentes do processo. Isto permite uma visualização completa de toda a instalação a partir de um único ponto. A IHM simula na tela do computador os mesmos comandos que existiriam junto à máquina, tais como, botões, lâmpadas, *knobs*, chaves, indicadores, além de permitir a inclusão de valores através de campos de texto ou caixas de seleção.

Os sistemas supervisórios atualmente utilizados pouco se parecem com as primeiras versões desse tipo de sistema, que foram lançadas a mais de 20 anos. A FIGURA 10, representa a evolução dos sistemas supervisórios ao longo do tempo.

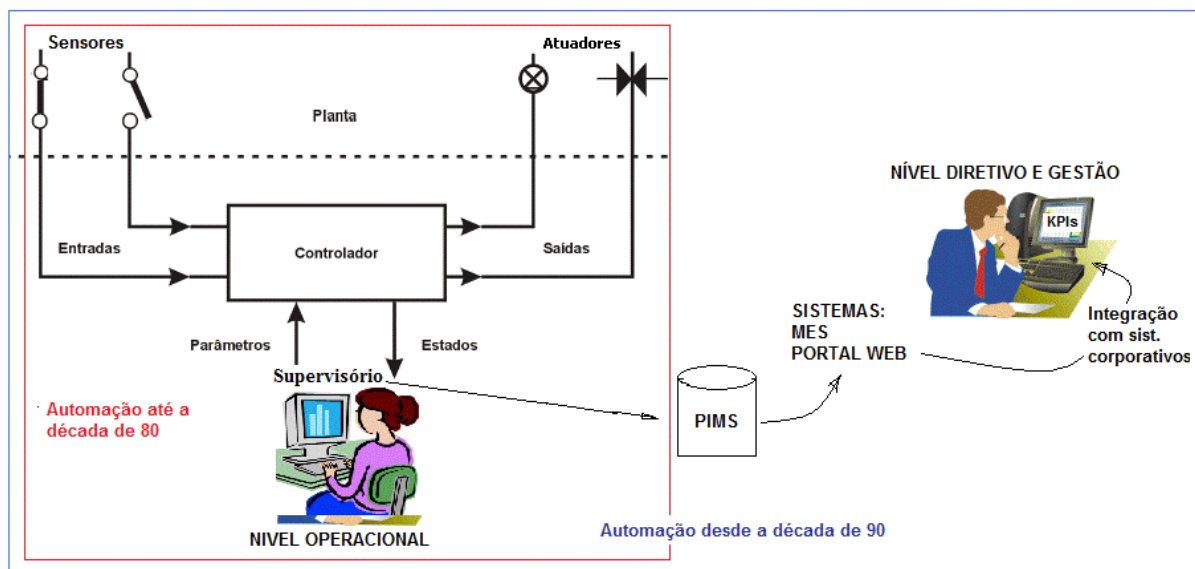


FIGURA 10 - EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS SUPERVISÓRIOS

FONTE: Marques (2012)

Na década de 80, o sistema de supervisão era basicamente utilizado com foco na operação dos processos. No supervisório eram feitas as leituras dos valores de campo registrados no CLP, valores dos sensores, assim como comandos, acionamentos e monitoração da planta industrial através da operação remota (SILVA; TSUTIYA, 2006, p. 595).

A partir da década de 90, esses sistemas passaram a ser utilizados para histórico, análise dos dados e gerenciamento das informações. Não se podia imaginar que os supervisórios fossem abraçar tantas funcionalidades e responsabilidades dentro de um projeto de automação e nem que se tornassem uma base de dados fundamental para tomadas de decisão e não somente de operação da planta (ZAMPRONHA, 2006, p. 9).

Portanto, o sistema de supervisão, além de ser uma interface de operação, tornou-se também uma ferramenta de gestão operacional, de manutenção e financeira, onde é possível transformar dados de processos em informações de negócio. São muitas as ferramentas disponíveis que permitem a obtenção destas informações e destaca-se a importância da formação de grupo de gestão nas concessionárias, para a criação de diretrizes e regras de negócio para direcionar e integrar o sistema de forma global (CARNEIRO JUNIOR, 2011, p. 48).

3.5.8 Sistemas de supervisão, controle e aquisição de dados (SCADA)

Os sistemas SCADA - Sistemas de Supervisão, Controle e Aquisição de Dados (em inglês, *Supervisory Control and Data Acquisition*), utilizam as tecnologias de automação, com uso de comunicação remota por telemetria, sendo um conceito de controle distribuído, ou seja de controlar um processo geograficamente distribuído (FONSECA, 2008, p. 111).

Estes sistemas são formados por sensores e atuadores (instrumentação), estações remotas (aquisição e controle po CLP's), rede de comunicação e um sistema de supervisão e controle, que permitem que sejam monitoradas e rastreadas informações de um processo produtivo ou instalação física. Tais informações são coletadas através de equipamentos de aquisição de dados e, em seguida, manipuladas, analisadas, armazenadas e disponibilizadas (BEZERRA; SILVA, 2004, p. 205).

Para a estruturação deste sistema é necessário, determinar primeiramente os pontos do processo onde suas grandezas físicas importantes para o projeto deverão ser coletadas. O passo seguinte é uma especificação adequada da instrumentação a ser utilizada, pois neste componente é que vai se sustentar toda a confiabilidade do sistema. Os sinais oriundos desses medidores, analógicos ou digitais, vão ser tratados segundo um algoritmo de controle do CLP que procura ajustar o sistema para o ponto de operação desejado (SILVA; TSUTIYA, 2004, p. 606).

Levantadas as características e requisitos do sistema de automação industrial, o sistema SCADA será desenvolvido de acordo com as características de uma ferramenta de desenvolvimento ou de acordo com o ferramental disponível por uma linguagem de programação específica (VOTRE, 2006, p. 41).

Os sistemas SCADA, representados na FIGURA 11, são usados na maior parte dos processos industriais. Estes sistemas têm feito progressos substanciais ao longo dos últimos anos e utilizam tecnologias de computação e comunicação para automatizar a monitoração e controle dos processos industriais, sendo os responsáveis pela coleta de dados em ambientes complexos e dispersos geograficamente (BEZERRA; SILVA, 2004, p. 205).

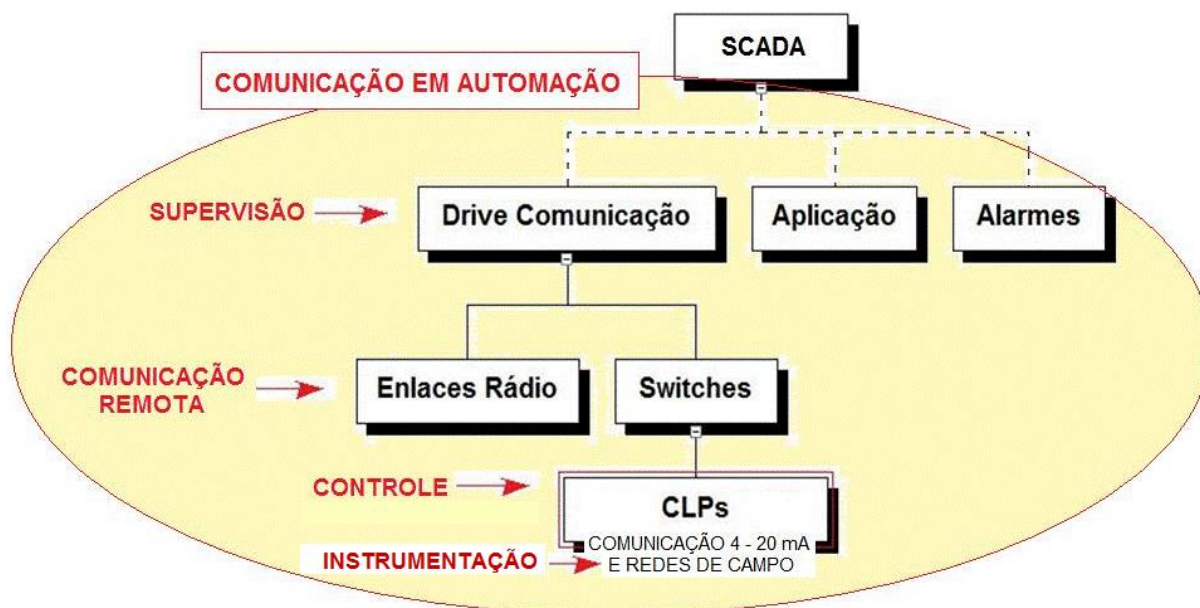


FIGURA 11 - SISTEMA SCADA
 FONTE: Marques (2012)

Segundo Bezerra e Silva (2009, p. 206), o sistema SCADA é formado por quatro subsistemas, conforme representação da FIGURA 11:

- Instrumentação : sensores e atuadores ligados as entradas e saídas do CLP, por comunicação analógica 4 a 20 mA ou redes de campo;
- Controle: aquisição e controle das informações de campo do CLP que precisam ser enviadas a outro CLP, estações remotas e ao sistema de supervisão;
- Comunicação remota: meio físico pelo qual é feita a comunicação entre os CLP's distantes uns dos outros e com o sistema de supervisão do sistema, por exemplo rádio enlace ou *switch's*;
- Supervisão: onde é feito o controle do sistema com telas de aplicação, comandos do sistema a ser controlado e onde está o drive de comunicação responsável por traduzir as informações do CLP ao supervisor. Além da sinalização de alarmes e falhas de anormalidades de campo.

Em um sistema de abastecimento de água distribuído o sistema SCADA executa basicamente duas funções distintas. O controle supervisorio realiza o controle remoto de dispositivos como bombas e válvulas e a aquisição de dados

obtem informações como vazão ou pressão de sensores remotos (SILVA; TSUTIYA, 2004, p. 606).

Um aplicativo desenvolvido em plataforma SCADA irá processar, com base em formulas e lógicas pré-definidas, determinando, se necessário, ações de controle e novos *set point's* de operação. Além de gerar alarmes, indicativos de tendências, gráficos e tabelas de registros históricos (LIMA *et al.*, 2011, p. 34).

3.6 AUTOMAÇÃO EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

O saneamento básico passa por um processo de industrialização, tornando-se indispensável proceder à medição das variáveis, de modo a valorar e quantificar a distribuição de água produzida e distribuída, mensurar as perdas de água do processo e registrar o histórico de insumos utilizados, informações de alto valor estratégico para as tomadas de decisão da companhia de saneamento (LIMA *et al.*, 2011, p. 38).

Sendo assim, a automação de sistemas de abastecimento de água pode contribuir para um melhor aproveitamento de vários recursos naturais, seja no simples controle de liga e desliga de uma bomba ou no controle operacional de um sistema de abastecimento de água complexo de uma cidade, solucionando também uma série de dificuldades operacionais, como manter operadores nas unidades de tratamento, ligando e desligando bombas, que podem ser feitos por meio de comandos remotos, realizados principalmente por telemetria, onde várias unidades podem ser assistidas a partir de um centro de controle operacional (CCO), com funções de operação, otimização e planejamento, com menor custo e maior segurança (SILVA; TSUTIYA, 2004, p. 577).

Pode-se dizer ainda, segundo Rocha (2011, p. 7), que uma empresa de saneamento sob a óptica operacional é uma fábrica, onde seus diversos processos unitários estão espalhados dentro de uma área geográfica extensa, devendo ser integradas suas respectivas operações, de forma que o chamado ciclo do abastecimento atinja seus objetivos.

Sistemas SCADA destinados para controle de redes de abastecimento, caracterizam-se principalmente pela necessidade de aquisição e envio de informações de um ou mais centros de controle operacionais a estações remotas e caracterizam-se pela flexibilidade de integração, o que permite a utilização de uma

diversidade de meios de comunicação para a supervisão dos processos ao encontro das necessidades de sistemas distribuídos em áreas extensas e de localidades bem distantes entre si (FONSECA, 2007, p. 111).

No ponto crítico de cada área de abastecimento automatizada está instalado um controlador programável, que faz a aquisição dos dados de pressão, vazão ou nível de reservatórios, transmitindo-os para o controlador da área superior ou mestre, área imediatamente mais próxima ao centro de supervisão, o qual desencadeia a ação de abertura ou fechamento, se estiver controlando uma válvula, por exemplo. Cada área é operada de maneira autônoma, sendo que, ao ocorrer qualquer problema na supervisão, as áreas continuarão operando sem prejuízo, até que o sistema volte ao normal.

Desta maneira se constitui a malha de integração hierárquica do sistema de automação, na qual é possível monitorar todas as variáveis do sistema, assim como comandar e supervisionar o estado dos diversos equipamentos envolvidos na operação, tais como CMB's, conversores de frequência, válvulas de controle automáticas, dosadoras de produtos químicos, agitadores e *set point's* de controle. O sistema SCADA gerencia todos os pontos da automação dos SAA's, alarmes, relatórios e gráficos de acompanhamento, podendo ainda filtrar informações e fornecer subsídios para cada setor da empresa (TROJAN; KOVALESKI, 2004, p. 7).

Segundo Bezerra e Silva (2009, p. 204), a implantação da automação nos sistemas de abastecimento proporciona um aumento da confiabilidade do processo, porque qualquer anormalidade operacional é facilmente detectada, de maneira que as ações necessárias sejam tomadas em tempo hábil. As falhas e diagnósticos variam de sistema para sistema, mas de forma geral, pode-se citar:

- Falhas de equipamentos (por exemplo: motores, conversores e válvulas);
- Falhas de instrumentação (por exemplo: sensores de pressão, nível e vazão);
- Falta de energia;
- Nível baixo ou extravasamento de reservatórios;
- Pressões insuficientes ou elevadas;
- Vazões baixas ou elevadas;

- Problemas estruturais (por exemplo: aterramento);
- Rupturas de tubulações;
- Segurança dos componentes contra roubo e danos;
- Vazamentos (por exemplo: diferença nos medidores de vazão).

A partir do uso das tecnologias de automação é possível um mapeamento dos hábitos de consumo e entrega de água para apontar as perdas através da queda de pressão e o aumento de vazão, onde as informações de cada instrumento podem ser configurados para alarmar em caso de fuga do *range* estabelecido, onde o sistema pode dar apoio à decisão operacional, integrando todas as ferramentas de controle e disponibilizando índices de desempenho por estação remota ou unidade corporativa (JANUÁRIO, 2013, p. 34).

Serão apresentadas as principais funções da automação no sistema de abastecimento de água e algumas aplicações, que demonstram a viabilidade da automação para a otimização do controle operacional, redução de perdas e de impactos ambientais num sistema de abastecimento de água.

3.6.1 Principais funções da automação no abastecimento de água

Além do controle de pressão, parâmetro fundamental para a redução de perdas de água nos sistemas de abastecimento de água, Silva e Tsutiya (2004, p. 578-581) descrevem também as principais funções da automação para estes sistemas, que são a medição e controle de parâmetros como:

- Parâmetros de qualidade da água (por exemplo: turbidez, pH e potencial de coagulação);
- Controle e otimização das dosagens de produtos químicos;
- Níveis de mananciais, barragens e reservatórios;
- Posição e controle de válvulas;
- Integração dos sistemas de controle de ETA's, elevatórias e poços;
- Telecomando e controle das bombas de captações, elevatórias e de poços;
- Volumes armazenados e distribuídos.

- Macro e micromedição de volumes;
- Controle automático do ciclo de lavagem dos filtros;
- Controle de energia elétrica;
- Controle automático da remoção de lodo das ETA's;
- Integração com CCO das ETA's, otimizando o bombeamento em função da demanda ou capacidade de tratamento.

3.6.2 Sistema de bombeamento via conversores de frequência

Em sistemas de distribuição de água onde há a necessidade de controlar a vazão e pressão em função da demanda, o bombeamento de água através de estações elevatórias acionadas com conversores de frequência se apresentam como uma excelente alternativa, permitindo a modulação da pressão de acordo com o consumo ao longo do dia, o que, entre outras vantagens, reduz a ocorrência de sobrepressões na rede, reduzindo as perdas reais (ROCHA, 2011, p. 10).

Através de um sensor de pressão na linha de recalque, também poderia ser um sensor de vazão ou de nível, o sinal elétrico, geralmente 4 a 20 mA, é enviado para o CLP, que a partir do controle PID ao perceber um aumento de pressão na rede de água, reduz automaticamente a velocidade de rotação do motor para manter o valor desejado de pressão, e quando a pressão é menor que a estabelecida pelo usuário, o conversor aumenta a velocidade de rotação do motor. Esse controle possibilita a redução de energia elétrica e de perdas no sistema de abastecimento de água (BEZERRA, SILVA, 2009, p. 237).

3.6.3 Monitoramento da qualidade de água

Quando a captação de água é realizada em corpos d'água sujeitos a lançamentos industriais, normalmente é necessário um consumo maior de produtos químicos e de energia elétrica para o tratamento de água. Uma alternativa adequada é o monitoramento da qualidade água do corpo de captação, para que o processo de tratamento seja interrompido, quando se constatar uma alteração significativa das características monitoradas da água bruta, por exemplo presença de óleo ou algum

contaminante. Para a implantação desse sistema é necessária a instalação de sensores de qualidade de água no manancial, bem como, um aparato de transmissão de sinal desse sensor para a estação de tratamento de água, onde um sistema computacional pode intervir no sistema de bombeamento de captação de água bruta (SILVA; TSUTIYA, 2004, p. 608).

3.6.4 Acionamento múltiplo de conjuntos moto bomba

Quando há grandes variações da vazão bombeada, faz-se necessário a instalação de um acionamento múltiplo de conjuntos moto bomba operando em paralelo, alguns com todos CMB's acionados com conversor de frequência e outros com apenas um, onde o conversor varia a velocidade de rotação da bomba principal e comanda a partida das demais bombas complementares por meio das saídas digitais a relé (BEZERRA, SILVA, 2009, p. 239).

3.6.5 Dosagem de produtos químicos

Segundo Roque e Martins (2014, p. 36), tanques que armazenam água em um sistema de abastecimento, requerem controle preciso sobre a quantidade do elemento purificador utilizado e a periodicidade de aplicação da substância, instrumentação analítica.

3.6.6 Controle de pressão do ponto mais desfavorável

O controle de pressão pode ser realizado por meio da instalação de medidores de pressão remotos nos pontos mais desfavoráveis do sistema, que geralmente são os pontos mais distantes ou os pontos mais altos da rede, podendo, inclusive, haver mais de um medidor de pressão por elevatória.

Cada medidor de pressão, por sua vez, pode ter diferentes valores de referência de pressão (*set point*). Neste caso, os valores de pressão medidos devem passar por uma lógica de seleção, sendo escolhido o medidor com o maior *déficit* de pressão como determinante na ação do controlador. Desta forma, garante-se o abastecimento nas regiões menos privilegiadas. Nestes casos é indispensável à implantação de um controlador e recomenda-se a adoção de transdutores de

pressão com transmissão de dados GSM, para que não haja necessidade da implantação de UTR ou CLP (BEZERRA, SILVA, 2009, p. 240).

3.6.7 Intertravamentos de segurança

Um sistema automatizado pode ser configurado, por exemplo, para caso houver um rompimento em uma adutora, a partir da identificação de uma diferença significativa entre a vazão de jusante e montante, intertravar o sistema de abastecimento a partir do CLP, desligando bombas, fechando válvulas e indicando esta situação ao sistema supervisor.

Este tipo de controle permite minimizar um potencial rompimento da rede, reduzir os impactos ambientais e as perdas de água, além da redução do tempo de diagnóstico e reparo deste rompimento. Outro exemplo é um sistema de abastecimento composto de captação e estação de tratamento de água distribuídos. Caso falte energia na ETA, o CLP mestre responsável pela comunicação com a remota da Captação, intertrava e envia comandos para interrupção do sistema de bombeamento da captação, de modo a evitar o envio de água a ETA, extravasamentos e filtração de água sem tratamento (VOTRE *et al.*, 2014).

Estes sistemas causam a parada de emergência ou impedem uma operação insegura sempre que as condições de processo ultrapassem os limites preestabelecidos como seguros ou que se estabeleçam condições operacionais perigosas, risco de vida e a saúde da população ou os danos provocados por vazamentos de líquidos na atmosfera (FINKEL, 2003, p. 525).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo será apresentado como foi selecionado o estudo de caso, feita a explicação dos dados coletados, tabeladas as equações utilizadas para os cálculos do trabalho e demonstrado o estudo de caso sobre a implementação do controle automático de pressão no sistema de distribuição de água do Centro de Reserva (CR) Portão, localizado na cidade de Curitiba PR, Brasil.

A pesquisa foi elaborada através de estudo de caso realizado na SANEPAR e investigou o efeito do controle da pressão em um sistema de abastecimento de água provocada pelo uso de conversores de frequência acionados pelo sistema de automação nas elevatórias do CR Portão. O tipo de estudo de caso escolhido para este trabalho foi o estudo de caso avaliativo, que busca fornecer informações para a tomada de decisões, podendo ser usado para análise do custo benefício de investimentos, seja em novos sistemas ou revitalização de sistemas existentes.

Através do método da amostragem, foi realizado um levantamento comparativo no CR Portão, onde se definiu períodos de tempo que pudessem representar a diferença real na gestão das pressões, controle de perdas e redução do gasto de energia elétrica do sistema antes e após a automação, além da detecção da melhoria de outros fatores operacionais relacionados ao processo produtivo e distributivo no abastecimento de água. Esse estudo consiste em pesquisa documental extraída de relatórios, livros, dados coletados no sistema SCADA do Iguaçu e do Sistema de Informações da SANEPAR (SIS), documentos públicos, pesquisa bibliográfica e de publicações de artigos em revistas, que possibilitaram avaliar o desempenho do sistema durante o período selecionado com o objetivo de explorar, avaliar, descrever e relatar os fatos como sucederam, proporcionar conhecimento acerca do fenômeno estudado e comprovar os efeitos e relações presentes no caso.

4.1 SELEÇÃO E DELIMITAÇÃO DO CASO

A empresa onde foi escolhido este estudo de caso, possui em seu parque de instalações operacionais ETA's dos mais variados portes, desde unidades com vazões inferiores a 50 L/s, até outras como a ETA Iguaçu, a maior ETA da região

metropolitana de Curitiba com vazão de 3.500 L/s. Há também diferenças importantes com relação à qualidade da água bruta captada por instalação, o que implica maiores ou menores dificuldades para o controle automático dos processos.

A cidade de Curitiba é a capital do Estado do Paraná, um dos três estados que compõem a região sul do Brasil. Curitiba possui segundo o Censo de 2010 realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 1.751.907 habitantes. Para atendimento do abastecimento de água desta cidade e seus arredores, região metropolitana, existem quatro Sistemas de Abastecimento Integrados de Curitiba (SAIC), conforme QUADRO 6.

Sistemas do SAIC	Fonte de abastecimento	Vazão produzida (L/s)	População atendida
IRAÍ	Barragem Piraquara I e II	2.800	659.165
IGUAÇÚ	Barragem Piraquara I e II	3.500	748.244
PASSAUNA	Barragem Passaúna	2.000	698.742
MIRINGUAVA	Rio Miringuava	900	336.023

QUADRO 6 - SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DO SAIC
FONTE: ADAPTADO DE SANEPAR (2014)

Todos esses sistemas podem ser controlados a partir dos SCADA's do Centro de Controle Operacional (CCO), situado no bairro Alto da XV, Curitiba - PR, onde existem 4 monitores para cada sistema e podem ser controlados também a partir do SCADA existente em cada Estação de Tratamento de Água (ETA), cada qual com suas particularidades. A comunicação entre os SCADA's das ETA's com os diversos sub-sistemas como o CR Portão é feita através de comunicação via rádio, enquanto que para o SCADA CCO, de onde é controlada e gerenciada a operação do Sistema de Abastecimento Integrado de Curitiba (SAIC), é realizado por meio de fibra ótica. Apesar do controle ser realizado no CCO ele depende do funcionamento dos SCADA's mestres presentes na ETA's que fazem um espelhamento dos dados e comandos para o CCO.

Através da avaliação e investigação do Sistema de Abastecimento Integrado de Curitiba (SAIC), foram verificados processos de controles de pressão, de modo a identificar deficiências operacionais em relação às perdas de água do sistema, que pudessem ser mudadas, implementadas ou que representassem uma melhora considerável dos sistemas de abastecimento de água, junto ao estudo e aplicação das ferramentas de automação para redução de perdas de água e validação do método de controle de pressão automatizado. Para isso foi necessário escolher um

sistema em que fosse possível demonstrar os benefícios do controle de pressão automatizado e ao mesmo tempo fazer um comparativo do sistema antes e após a implementação tecnológica.

Os critérios definidos para a seleção do sistema, que possibilitaram o levantamento das diferenças do controle de pressão entre os períodos avaliados foram:

- Histórico dos dados de pressão no SCADA antes e após a implementação da automação;
- Dados de volume produzido e consumido registrados no banco de dados da SANEPAR;
- Necessidade que o sistema de bombeamento, CMB's, fossem os mesmos durante o período avaliado;
- Necessidade que a área atendida pelo sistema, zonas de pressão, também fossem a mesma.

Apesar de algumas limitações encontradas para a análise de dados, como tempo de análise, o sistema que melhor conteve os pré requisitos de comparação para o estudo de caso proposto foi o sistema do CR Portão. As limitações basearam-se no fato de que o período de análise ficou restringido a apenas o mês de maio de 2012 em relação a maio de 2013, pois os CMB's referenciados no estudo foram implementados em abril de 2012, o que condiciona a análise a partir desse período e que a partir do mês de junho de 2012, foram iniciadas a substituição dos acionamentos do sistema de partida compensada para conversores de frequência, o que passou a alterar o regime de funcionamento do sistema.

No estudo de caso realizado no CR Portão, foi demonstrada a diferença de desempenho do sistema, usando como referência o mês de maio de 2012, antes da implementação do controle de pressão automatizado (01/05/2012 à 31/05/2012) e maio de 2013, após a automação (01/05/2013 à 31/05/2013). Também foi feita a descrição detalhada do comportamento da pressão e funcionamento do sistema de bombeamento compreendido em um período reduzido de três dias de maio de 2012, dias 14 à 17, em relação ao mesmo período de maio de 2013, que além do controle de pressão possibilitou observar a redução de energia elétrica consumida pelos CMB's, junto aos gráficos de frequência e corrente desses equipamentos.

A partir desta tela inicial é possível selecionar cada um dos subsistemas clicando sobre a unidade escolhida ou selecionar o sistema a partir do *menu* situado na parte superior da tela do sistema SCADA. Neste *menu* é possível abrir a seleção de unidades, conforme FIGURA 13, selecionar o monitor em que se deseja trabalhar e escolher a área que se deseja visualizar.



FIGURA 13 - SELEÇÃO DE UNIDADES SISTEMA IGUAÇÚ
FONTE: SANEPAR (2014)

O sistema do CR Portão pode ser operado remotamente de três maneiras diferentes:

- Através do SCADA no Centro de Controle Operacional;
- Através do SCADA situado na ETA Iguaçu, sistema ao qual o CR Portão pertence;
- Através de IHM situada junto ao quadro de automação no CR Portão.

Por se tratar de um sistema de automação distribuído, todos os subsistemas comunicam-se através de telemetria, rádios ou modems e concentram suas informações no SCADA da ETA Iguaçu, que por sua vez é replicado para o centro de controle operacional (CCO) por meio de fibra ótica. No CCO são controlados

todos os sistemas e subsistemas de distribuição do Sistema de Abastecimento Integrado de Curitiba (SAIC).

Em caso de falta ou falha de comunicação do sistema SCADA, o sistema pode ser operado via Interface Homem Máquina (IHM), FIGURA 14, diretamente no CR Portão e caso ocorra alguma pane na automação, o sistema pode ser operado localmente acionando os conversores de frequências dos CMB's diretamente no *display* dos conversores de frequência. Caso o sistema seja operado via IHM, as nomenclaturas presentes na tela da IHM, são identificadas conforme o QUADRO 8.

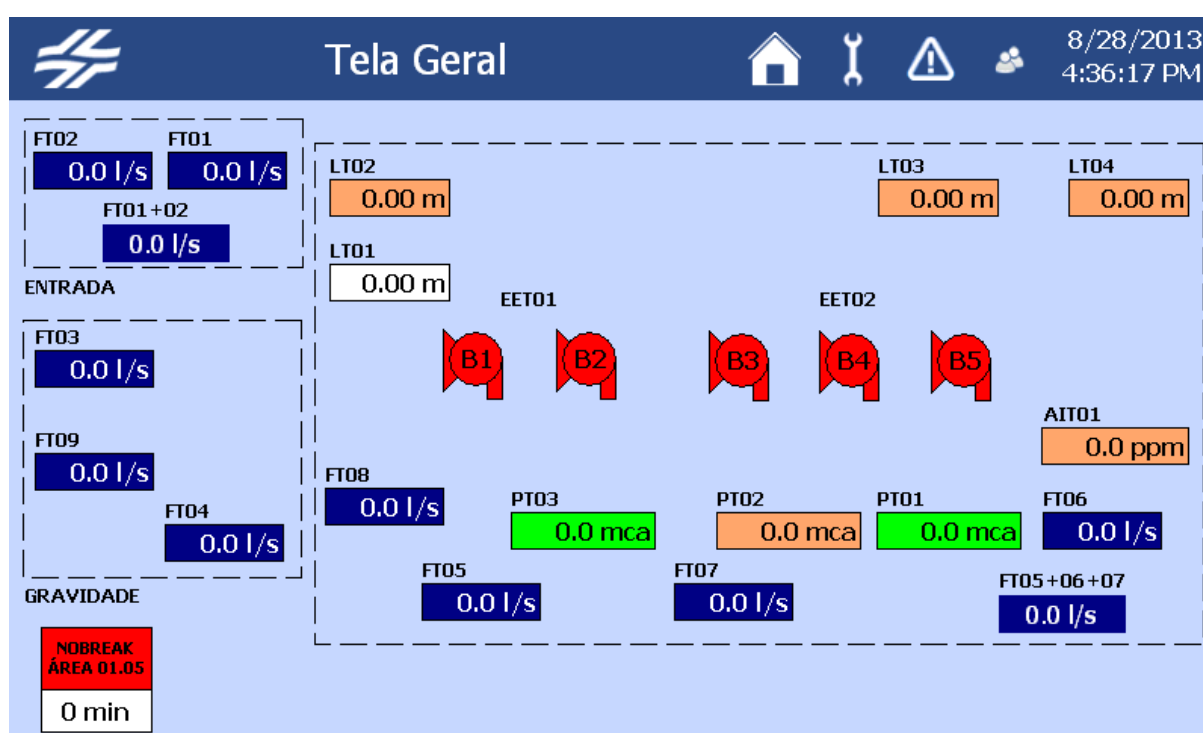



FIGURA 14 - TELA GERAL IHM CR PORTÃO
FONTE: SANEPAR (2014)

EQUIPAMENTO	DESCRIÇÃO	UNIDADE
AIT	Analizador de Cloro	Partícula por milhão (ppm)
B	Conjunto Moto Bomba	-
EET	Estação Elevatória	-
FT	Medidor de vazão (L/s)	Litros por segundo (L/s)
LT	Nível (m)	Metro (m)
PT	Sensor de pressão	Metro Coluna da Água (mca)

QUADRO 8 - LEGENDA DOS EQUIPAMENTOS DA IHM
FONTE: ADAPTADO DE SANEPAR (2014)

A tela inicial da IHM apresenta as principais medições de cada tela, sem possibilidade de executar nenhum comando sobre qualquer equipamento.

Para navegar entre as telas é preciso clicar no botão *Menu* . Ao acionar este *menu* será possível acionar outras telas para o comando e controle de partes do processo, como as elevatórias, a tela de distribuição e os instrumentos de medição, com os mesmos comandos possíveis pelo supervisório.

O supervisório do sistema CR Portão, (FIGURA 15), permite visualizar o estado e operar os equipamentos do sistema. Nele são mostradas telas de vazão, nível, pressão, posição das válvulas, corrente e frequência dos motores dos CMB's e alarmes de falhas de cada equipamento.

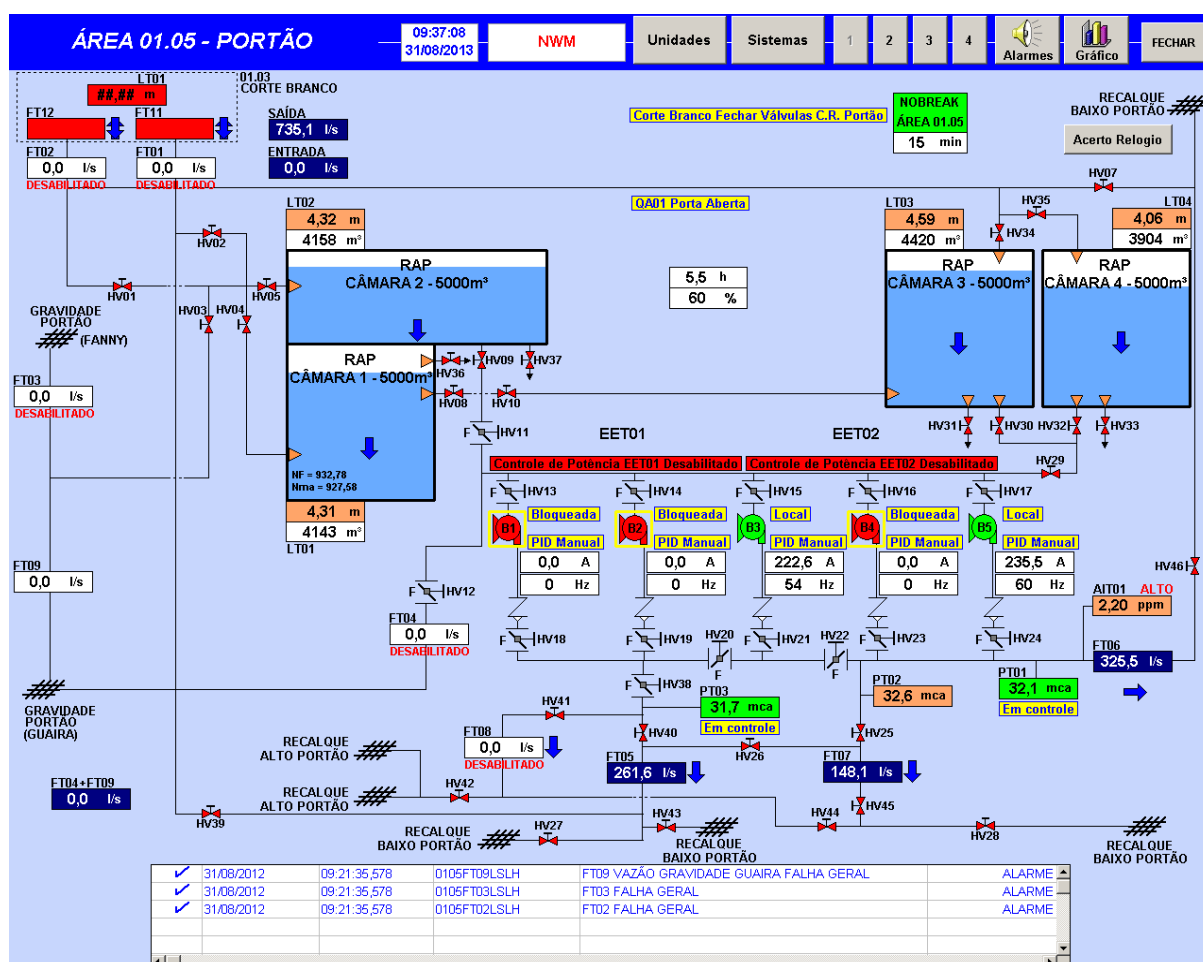









FIGURA 15 - SISTEMA SUPERVISÓRIO CR PORTÃO
FONTE: SCADA - SANEPAR (2014)

Os diferentes equipamentos e *displays* da aplicação seguem um padrão dos estados dos dispositivos definidas pela SANEPAR por diferentes cores, conforme QUADRO 9.

CORES	SITUAÇÃO DO EQUIPAMENTO
Verde	Equipamento ligado
Vermelho	Equipamento desligado
Quadrado amarelo	Equipamento em falha
Cinza	Estado intermediário

QUADRO 9 - PADRÃO DE CORES DE STATUS DOS EQUIPAMENTOS
FONTE: ADAPTADO DE SANEPAR (2014)

Na aplicação são usados diferentes ícones para indicar condições associadas aos diferentes equipamentos do sistema, conforme o QUADRO 10.

ÍCONE	DESCRIÇÃO
	Indica que a bomba opera como principal.
	Indica que a bomba opera como complementar.
	Indica que a bomba opera como reserva.
	Indica que no painel, o sistema está com a chave selecionada para operação local.
	Indica que no painel, o sistema está com a chave selecionada para operação bloqueada.
	Indica que o instrumento foi selecionado para manual.
	Indica que a operação do PID foi selecionada para manual.

QUADRO 10 - CONDIÇÃO DE FUNCIONAMENTO DOS EQUIPAMENTOS
FONTE: ADAPTADO DE SANEPAR (2014)

O sistema apresentado, (FIGURA 15), possui três sensores de pressão (PT 01, PT 02 e PT 03) para controle e medição da variável de pressão, mas estava funcionando em uma primeira etapa com todas as válvulas de controle manual (HV's) abertas, distribuindo água tratada para a rede de distribuição como uma única zona de pressão, registrando assim valores iguais entre os PT's. Porém existem 2 elevatórias diferentes neste sistema, EET01 recalque alto Portão e EET02 recalque baixo Portão, projetadas para ligar e desligar bombas principal e complementares de cada elevatória em função do valor do *set point* definido para o controle de pressão de cada zona de pressão separadamente.

Como a separação da rede de distribuição e de suas elevatórias estava prevista somente para julho de 2014, as elevatórias tem sido controladas em dois

patamares distintos durante o dia. Elevatória EET01, patamar diurno, das 06:00 hs à 00:00 hs, controlada pelo sensor de pressão 03 (PT03) e elevatória EET02, patamar noturno, controlada pelo sensor de pressão 01 (PT01) das 00:00 hs às 06:00 hs.

O funcionamento das elevatórias pode ser selecionada clicando sobre a EET a ser controlada na tela do SCADA. Selecionada a elevatória é aberta uma *pop up*, (FIGURA 16), onde podem ser escolhidos os critérios de funcionamento para cada elevatória.

ÁREA 01.05 PORTÃO
OPERAÇÃO EET01 - ZONA ALTA

HABILITA **DESABILITA**

BOMBA PRINCIPAL
☐ B1 ☒ B2

CONFIGURAÇÃO DE OPERAÇÃO
☒ 1+1 ☐ 2+0

OPERAÇÃO B3
☒ ZONA BAIXA ☐ ZONA ALTA

HORÁRIO DE REVEZAMENTO
 ENTRE **22 : 30** E **23 : 30**

MULTIMEDIDOR MM01
 CONTROLE DE POTÊNCIA
 CONTROLE ENCHIMENTO

DATA E HORA DO PLC
 HORA **09 : 34 : 05**
 DATA **31 / 08 / 2012**

FECHAR

ÁREA 01.05 PORTÃO
OPERAÇÃO EET02 - ZONA BAIXA

HABILITA **DESABILITA**

BOMBA PRINCIPAL/RESERVA
 PRINCIPAL B5 B4 B3
☐ ☒ ☒ ☐

CONFIGURAÇÃO DE OPERAÇÃO
☐ 2+1 ☒ 3+0

OPERAÇÃO B3
☒ ZONA BAIXA ☐ ZONA ALTA

HORÁRIO DE REVEZAMENTO
 ENTRE **22 : 30** E **23 : 30**

MULTIMEDIDOR MM01
 CONTROLE DE POTÊNCIA
 CONTROLE ENCHIMENTO

DATA E HORA DO PLC
 HORA **09 : 34 : 30**
 DATA **31 / 08 / 2012**

FECHAR

FIGURA 16 - *POP UP* DE CONTROLE DAS ELEVATÓRIAS
 FONTE: SCADA - SANEPAR (2014)

Nestas *pop up's* é possível habilitar ou desabilitar a operação das elevatórias, selecionar a bomba que inicia a operação como principal, selecionar o modo de operação das EET's, selecionar a operação da bomba 03, que pode funcionar para ambas elevatórias e configurar o horário de revezamento das bombas das elevatórias.

Para escolher qual bomba inicia como principal deverá ser marcada a bomba desejada.

Na configuração de operação deverá ser escolhida a forma que as elevatórias vão operar. No caso da EET01 pode ser: uma bomba operando e uma bomba reserva (1+1) ou ainda as duas bombas operando sem bomba reserva (2+0). Já no caso da EET2 pode ser: duas bombas operando e uma bomba reserva (2+1) ou ainda as três bombas operando sem bomba reserva (3+0).

O revezamento entre as bombas ocorrerá somente entre o horário inicial e o horário final configurado. Mesmo que as bombas já tenham trabalhado o suficiente para ocorrer o revezamento, estas só revezarão entre o horário inicial e o horário final.

Quando for feita a separação das elevatórias a expectativa é que seja possível controlar cada sub área do sistema individualmente e poderá ser feita uma nova análise mensurando os ganhos desse controle de pressão por zonas distintas.

O sistema de bombeamento do CR Portão é composto por cinco conjuntos moto bombas (CMB's), utilizados na análise feita nos períodos delimitados, maio de 2012 e maio de 2013. Estes podem ser visualizados na FIGURA 17 e seguem especificações conforme QUADRO 11. Na FIGURA 17, também é possível observar as válvulas de controle manual (HV's) nas interligações das elevatórias e saída da rede de recalque.



FIGURA 17 – EQUIPAMENTOS CMB's E HV's ANALISADOS
FONTE: O autor (2014)

CMB'S	POTÊNCIA DO MOTOR (KW)	VAZÃO DAS BOMBAS (L/S)	ALTURA MANOMÉTRICA DAS BOMBAS (mca)
CMB 01	129	222	38
CMB 02	129	222	38
CMB 03	184	442	27
CMB 04	184	442	27
CMB 05	184	442	27

QUADRO 11 - ESPECIFICAÇÃO DOS CMB's DO CR PORTÃO
FONTE: ADAPTADO DE SANEPAR (2014)

Em maio de 2012 as bombas eram acionadas por partida compensada, (FIGURA 18), localmente ou através de comandos remotos via CCO e o controle de pressão da rede era realizado por meio de manobras, abertura e fechamento de válvulas de controle manuais (HV's), realizada por operadores em horários definidos segundo demanda e perfil de consumo indicados pelo centro de controle operacional (CCO).

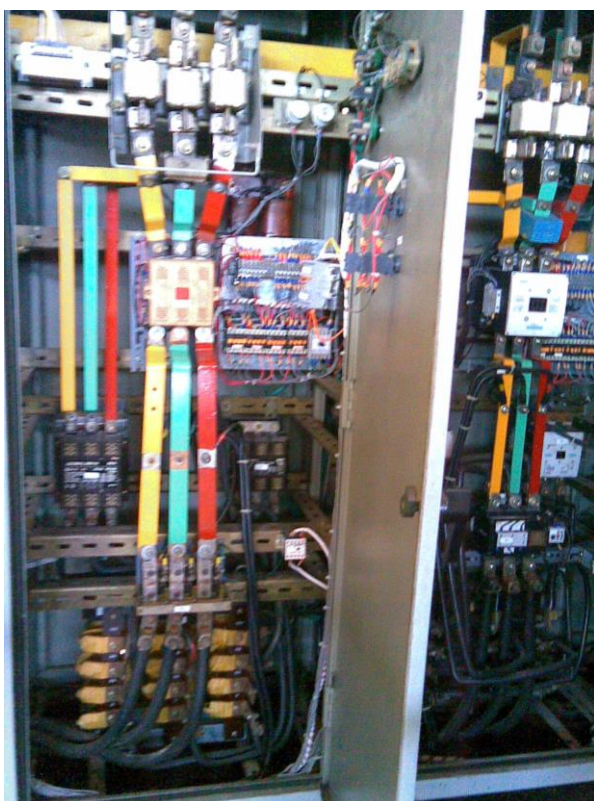


FIGURA 18 - PARTIDA COMPENSADA
FONTE: O Autor (2012)

Em 2013 após obras no sistema de automação, o controle de pressão passou a ser realizado pelo CLP, através do controle em tempo real das variáveis de pressão, acionando conversores de frequência, (FIGURA 19), que ligam e desligam

CMB's unitários ou em associação em paralelo, (CMB principal e CMB's complementares) e variam a rotação destes para controle do *set point* de pressão pré-definido para cada faixa de horário durante o dia no SCADA do CCO.



FIGURA 19 - CONVERSOR DE FREQUÊNCIA VLT ACQUA DRIVE
FONTE: O Autor (2014)

Para esta automação, além dos cinco conversores de frequência utilizados, foi implementado um novo CLP, o Siemens ET200S, (FIGURA 20), que através de seu processador lógico, suas entradas e saídas analógicas e interfaces de rede, fazem a leitura das variáveis dos sensores e instrumentos de campo, processam as informações e desencadeiam o controle sobre os acionamentos dos CMB's e válvulas para a distribuição otimizada de água aos consumidores. Este controlador também recebe via rádio sinais da elevatória do CR Corte Branco e pode intertravar o sistema por segurança mediante os níveis deste sistema, prevenindo possíveis extravasamentos.

Este CLP (Controlador Lógico Programável) possui componentes que permitem a leitura das entradas digitais e analógicas, os estados e comandos de equipamentos por rede industrial, o processamento destas informações por uma lógica definida na CPU, a atuação das saídas digitais e analógicas, o controle e

acionamento de equipamentos por rede industrial, além da comunicação com sistemas de controle e supervisão.



FIGURA 20 - CLP SIEMENS ET 200S
FONTE: O Autor (2014)

No QUADRO 12 está a relação do CLP e dos componentes implementados ao quadro de automação (QA) do CR Portão, identificando desde a fonte de alimentação e suas baterias (SITOP), o tipo de IHM utilizada, as interfaces de redes de campo profibus DP até o número de entradas e saídas digitais (DI) e (DO) e entradas analógicas (AI).

QA-01	SITOP PSA100E	6EP 1233-1AA00	1 unidade
	SITOP BATERIA	6EP 1935-6ME21	1 unidade
	SITOP DC UPS	6EP 1931-2DC21	1 unidade
	IM151-8 PN/DP	6ES7 151-8AB01-0AB0	1 unidade
	DP Máster Interface	6ES7 138-4HA00-0AB0	1 unidade
	PM-E DC 24V	6ES7 138-4CA00-0AA0	1 unidade
	8DI DC24V	6ES7 131-4BF00-0AA0	8 unidades
	8DO DC24V/0,5 ^a	6ES7 132-4BF00-0AA0	1 unidade
	2AI x I 4WIRE ST	6ES7 134-4GB11-0AB0	9 unidades
	IHM TP700 Comfort	6A V2124-0GC01-0AX0	1 unidade

QUADRO 12 - LISTA DE EQUIPAMENTOS QA
FONTE: SANEPAR - USPE (2014)

O sistema do CR Portão, observado na FIGURA 15, também contempla a utilização de 9 macro medidores de vazão eletromagnéticos, que medem a vazão de entrada e saída do reservatório para cada sub área de distribuição, seja pelas elevatórias ou pelo sistema de distribuição por gravidade. Caso haja necessidade de intertravamento hidráulico, várias são as válvulas (HV's) que podem ser controladas remotamente na rede de distribuição, representadas em vermelho (fechadas) ou verde (abertas), como também as válvulas manuais, registros de interligação ou bloqueio do sistema, as quais para melhor controle operacional, apesar de totalmente manuais, ser possível descrever seu estado no supervisório em (A) aberto e (F) fechado, facilitando o gerenciamento do sistema de abastecimento.

Este controle, com aplicação das ferramentas de automação acionando conversores de frequência no CR Portão é realizado através da utilização de um sensor de pressão na linha de recalque, (FIGURA 21). O sinal elétrico de 4 a 20 mA enviado pelo sensor para o controlador, representa a retroalimentação (*feedback*) para o controlador do tipo PID (proporcional, integral, derivativo) do CLP. O *set point* é um valor de corrente elétrica correspondente a um valor de pressão especificado pelo operador. O controlador, ao perceber um aumento de pressão na rede, reduz automaticamente a velocidade de rotação do motor, para manter o valor desejado de pressão e quando a pressão é menor que a estabelecida pelo usuário, o conversor aumenta a velocidade de rotação do motor.

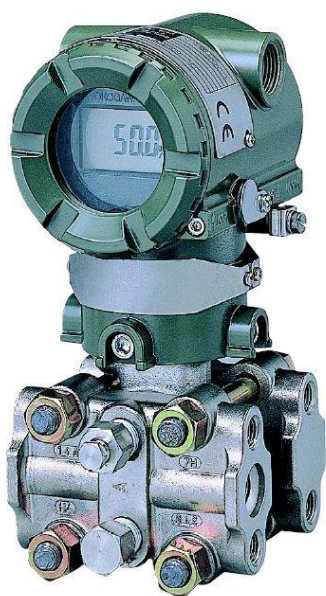


FIGURA 21 - SENSOR DE PRESSÃO YOKOGAWA
FONTE: YOKOGAWA (2014)

Os sinais dos sensores de pressão (PT01, PT02 e PT03), possuem configurações de funcionamento no SCADA, conforme *pop up* da FIGURA 22.

ÁREA 01.05 PORTÃO
PT01

☒ HABILITA SENSOR

SP CONTROLE LOCAL 35,0 mca

PV > SP DESATIVA CONTROLE DE POTÊNCIA 1,10

PV < SP LIGA BOMBA COMPLEMENTAR 0,85

☐ FALHA DE SINAL RESET

SOLICITAÇÃO DE MANUTENÇÃO

FECHAR

FIGURA 22 - *POP UP* DO MEDIDOR DE PRESSÃO
FONTE: SCADA - SANEPAR (2014)

Nesta *pop up* é possível habilitar ou desabilitar a operação do instrumento e o *status* de falha dos equipamentos que, na maioria das vezes, será solucionado clicando sobre o botão <<RESET>>.

No campo “SP CONTROLE LOCAL” deverá ser configurado o valor de pressão para controle quando o controle PID das bombas estiver em AUTOMÁTICO. No campo “PV>SP DESATIVA CONTROLE DE POTENCIA” deverá ser configurado um fator para desativar o controle de potência se a pressão medida estiver acima do SP CONTROLE LOCAL. No campo “PV<SP LIGA BOMBA COMPLEMENTAR” deverá ser configurado um fator que permite a bomba complementar ligar se a pressão medida estiver abaixo do SP CONTROLE LOCAL.

O controlador PID responsável pelo controle de pressão do sistema calcula o erro entre o valor medido na saída e o valor desejado no processo. Assim o controlador tenta diminuir o erro que foi gerado pela saída, ajustando a velocidade via conversor de frequência dos CMB's do sistema.

4.3 AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DE DADOS

Para analisar o desempenho do sistema implementado, comparando o seu funcionamento com o sistema anterior, foram coletados diversos dados e gráficos do sistema SCADA, dados da Unidade de Serviço de Produção e Distribuição (USPD), da Unidade de Projetos Especiais (USPE), dados da Unidade de Receita da Região Sul de Curitiba (URCTS) e dados dos Sistemas de Informações da SANEPAR, SIS e SAPIENS, para serem utilizados e interpretados em busca da quantificação de resultados da redução de perdas de água e redução de energia elétrica consumida pelo sistema de abastecimento e criar informações úteis para análise, otimização e validação do controle de pressão implementado. Os dados coletados foram:

- Características de funcionamento e de desempenho dos CMB's, observadas em 07 visitas de campo.
- Gráficos da pressão do sistema avaliado CR Portão, coletados em fevereiro de 2014 no sistema SCADA, referentes aos períodos de maio de 2012 e maio de 2013.
- Gráficos de pressão de maio de 2012 e 2013, compreendidos em um intervalo de tempo reduzido, 3 dias, de 14 à 17 de maio de cada um dos anos, coletados no sistema SCADA Iguaçu no CCO;
- Valores dos *set point's* de pressão do sistema no período avaliado, adquiridos junto ao setor operacional do CCO, comparados e validados junto aos gráficos de pressão do sistema automatizado no intervalo de tempo reduzido, 3 dias, 14 à 17 de maio de 2013;
- Gráficos da variação de frequência de funcionamento dos conversores de frequência, velocidade variável dos CMB's, de maio de 2013, compreendidos em um intervalo de tempo reduzido, 3 dias, de 14 à 17 de maio, coletados no sistema SCADA Iguaçu no CCO;
- Gráficos da corrente dos motores de maio de 2013, disponibilizadas pelos conversores de frequência ligados ao sistema de automação, compreendidos em um intervalo de tempo reduzido, 3 dias, de 14 à 17 de maio, coletados no sistema SCADA Iguaçu no CCO;

- Dados de consumo energético dos períodos do sistema avaliado, coletados junto ao setor de controle de energia elétrica da USPD no CCO;
- Dados de volume de água produzida, entrada de água no sistema CR Portão aduzida de uma das elevatórias do CR Corte Branco, coletados junto ao setor de micromedição da Unidade de Receitas Sul de Curitiba em 20 de fevereiro de 2014.
- Dados da micromedição do sistema avaliado, referentes a maio de 2012 e maio de 2013, coletados do Sistema de Informações da SANEPAR (SIS) em 22 de fevereiro de 2014.
- Dados do número total de ligações ativas no sistema, do número de ligações das elevatórias e do número de ligações de cada tipo de consumidor, comercial, industrial de maio de 2012 e 2013 no Sistema de Informações da SANEPAR (SIS), em 23 de fevereiro de 2014;
- Dados dos valores do custo de produtos químicos para o tratamento de água da ETA Iguaçu - USPD;
- Valores do custo operacional total da SANEPAR, mão de obra, energia elétrica e produtos químicos por m³ para fornecimento de água ao cliente final - USPD;
- Valores da tarifa do m³, cobrados aos diferentes tipos de clientes em 2013, retirados do Sistema de Informações da SANEPAR (SIS).
- Número de manutenções nos ramais e redes de distribuição de água no sistema CR Portão em relação aos períodos avaliados, coletados do sistema SAPIENS da SANEPAR.

Para os gráficos de pressão coletados no SCADA, períodos de maio de 2012 e maio de 2013, foram definidos no eixo Y o valor de pressão com *range* de 0 à 50 mca e no eixo X o período de tempo de 744 horas do mês de maio, ou seja, delimitação do tempo das 00:00 do dia 01 de maio até as 00:00 do dia 31 de maio, com intervalos no gráfico de 7 dias e 12 horas. Porém para o detalhamento da pressão, foi delimitado o período de três dias (14 a 17 de maio), onde foram definidos no eixo Y o valor de pressão correspondente ao range de 0 à 50 mca e no eixo X períodos de tempo de 62 horas, das 06:00 horas de 14 de maio até as 06:00

horas de 17 de maio dos dois períodos analisados, maio de 2012 e 2013, com intervalos no período de 18 horas.

Os valores das médias de pressão máxima e mínima, assim como os valores de pico das pressões, foram fornecidos automaticamente pelo sistema SCADA. Quando se delimita um período histórico de tempo no gráfico, os valores de pico registrados são o maior e o menor valor coletados durante o período configurado. Para as médias de pressão máxima e mínima, foi feita a média aritmética simples dos valores coletados, ou seja, foram somados todos os valores coletados e divididos pelo número de coletas realizadas. O SCADA do Iguaçu estava programado para registrar valores a cada 10 segundos, que durante as 744 horas selecionadas, conforme FIGURA 23, representou 267.840 registros durante o período avaliado, tanto no gráfico de maio de 2012, quanto no gráfico de maio de 2013 para o estudo de caso do CR Portão.

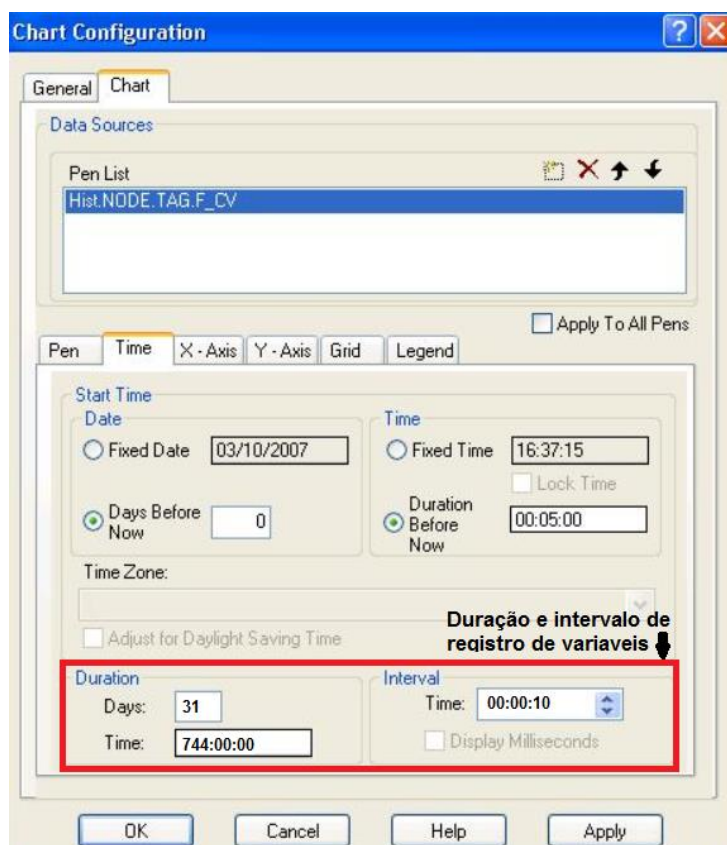


FIGURA 23 - CONFIGURAÇÃO DE GRÁFICOS SCADA
FONTE: Adaptado de SCADA SANEPAR

Para o gráfico de frequência, foi escolhido no eixo Y a frequência delimitada de 0 a 100 Hz e no eixo X períodos de tempo delimitados em 62 horas, das 06:00 horas de 14 de maio, até às 06:00 horas de 17 de maio dos dois anos analisados,

2012 e 2013, onde os CMB's funcionaram individualmente ou em associação em paralelo para atingir o *set point* de pressão determinada para cada período.

No gráfico de corrente, foi definido no eixo Y o range de corrente de 0 a 300 (A) e no eixo X períodos de tempo delimitados das 06:00 horas de 14 de maio até as 06:00 horas de 17 de maio dos dois anos analisados 2012 e 2013.

Em relação aos indicadores de perdas, como o estudo de caso foi realizado em uma unidade da SANEPAR caracterizada pela distribuição de água, as perdas no processo de adução e tratamento não foram contabilizadas dentro dos indicadores demonstrados a seguir.

Foram calculados dois indicadores: o indicador percentual de perdas (IP%) e o indicador de perdas por ligação (IPL). Entre as diferentes abordagens sobre esses indicadores de perdas, questiona-se a utilização do indicador percentual como referência de eficiência no uso da água e portanto para uma representação mais precisa para o estudo de caso, foi necessário o cálculo do (IPL), um indicador mais adequado para comparações, que relaciona o volume perdido com o número de ligações por dia: (Litros/ligação*dia), mais indicado para comparações de performance e que foi base para os cálculos de redução de perdas do sistema CR Portão antes e após a automação.

O IP% relaciona o volume produzido (VP), ou seja, a água disponibilizada ao sistema pelo volume medido (VM), que é a água consumida e devidamente registrada pelos medidores de água dos consumidores. O percentual desta diferença é a água perdida no sistema. Para o cálculo do IP (%) foi utilizada a equação (1).

$$IP (\%) = 100 \times \frac{VP (m^3) - VM (m^3)}{VP (m^3)} \quad (1)$$

onde:

IP = indicador de perdas percentual

VP = volume produzido

VM = volume medido consumido

Enquanto que o IPL representa um indicador volumétrico de desempenho, mais preciso que os percentuais, que relaciona a diferença entre volume disponibilizado e volume utilizado ao número de ligações ativas e ao período de tempo, número de dias de análise. Na equação este indicador é multiplicado por

1.000, para transformar a unidade de m³ para litros, na qual foi apresentado o indicador. Para o cálculo deste indicador foi utilizada a equação (2):

$$IPL = 1000 \times \frac{VP (m^3) - VM (m^3)}{(LA) \times (ND)} \quad (2)$$

onde:

IPL= índice de perdas por ligação dia

VP = volume produzido

VM = volume medido consumido

LA = número de ligações ativas

ND = número de dias do período avaliado

Para quantificar a média do consumo de água das unidades consumidoras da região analisada, foi calculado o indicador de volume consumido medido por ligação dia (VML). Para esse cálculo foi utilizada a equação (3):

$$VML = \frac{VM (m^3)}{(LA) \times (ND)} \quad (3)$$

onde:

VML = volume consumido medido por ligação dia

VM = volume medido consumido

LA = número de ligações ativas

ND = número de dias do período avaliado

Para o cálculo de economia de energia foram coletados na USPD dados do consumo de energia por unidade operativa para funcionamento das elevatórias do CR Portão nos períodos avaliados, feita uma relação com o volume consumido, chegando ao valor do custo de energia por m³ de água consumida. Para o cálculo deste valor foi utilizada a equação (4).

$$CEVM (R\$/ m^3) = \frac{TFE (R\$)}{VM (m^3)} \quad (4)$$

onde:

CEVM = custo de energia por volume micromedido

TFE = total da fatura de energia

VM = volume medido consumido

Para calcular o consumo de energia em relação aos dias da fatura e ao número de consumidores de água cadastrados em ligações ativas referente às elevatórias do CR Portão, foi utilizada uma relação de Energia por ligação dia (REL). Na equação esta relação é multiplicada por 1.000, para transformar a unidade de KW/h para W/h, na qual foi apresentada a relação. Para o cálculo deste valor foi utilizada a equação (5):

$$REL (Wh/ligação*dia) = 1.000 \times \frac{CE (KWh)}{(LA) \times (ND)} \quad (5)$$

onde:

REL = relação de energia por ligação dia

CE = consumo de energia

LA = número de ligações ativas

ND = número de dias do período avaliado

Utilizando o IPL, equação 2, e os valores das tarifas do m³ de água aplicados em 2013 para cada tipo de ligação, foi possível realizar cálculos que permitiram chegar ao valor do potencial de ganhos monetários com as reduções de perdas, referente a redução de perdas de água de maio de 2013 em comparação com maio de 2012 proporcionada após o advento da automação.

Os cálculos necessários para a obtenção destes valores foram:

Calcular o valor do percentual do volume faturado por tipo de ligação (PL), com base nos dados obtidos da SANEPAR, de volume consumido medido por tipo de ligação em maio de 2013 e do valor consumido medido total deste período. Para o cálculo deste valor foi utilizada a equação (6):

$$PL(\%) = \frac{VFL (m^3) \times 100}{VFT(m^3)} \quad (6)$$

onde:

PL(%) = percentual do volume faturado por tipo de ligação

VFL = volume faturado por tipo de ligação

VFT = volume faturado total

Calcular com base na diferença do IPL de maio de 2012, antes da automação e maio 2013, após a automação, junto ao número de ligações ativas de maio de 2013 e ao número de dias avaliados, dividido por 1.000 para valor em m³, a disponibilidade de água que deixou de ser perdida após a automação, base de dados para equação (8). Para o cálculo da equação (7) foi utilizada a equação:

$$DA(m^3) = \frac{\Delta IPL(L/ligação \times dia) \times LA \times ND}{1.000} \quad (7)$$

onde:

DA = disponibilidade de água que deixou de ser perdida

ΔIPL = diferença do IPL antes da automação e depois da automação

LA = número de ligações ativas

ND = número de dias do período avaliado

Com a base de dados da (DA), equação 7, junto ao percentual de volume de cada tipo de ligação, equação 6, foi possível calcular as perdas parciais de cada tipo de ligação. Para realização deste cálculo foi utilizada a equação (8):

$$PPL(m^3) = DA(m^3) \times PL(\%) \quad (8)$$

onde:

PPL = perdas de água parciais por tipo de ligação

DA = disponibilidade de água que deixou de ser perdida

PL = porcentual do volume faturado por tipo de ligação

Com as perdas parciais (PPL), equação 8, junto aos dados do valor faturado para cada tipo de ligação obtidos da SANEPAR, foi possível calcular o valor economizado após a automação para cada tipo de ligação, que somadas representam o ganho monetário da redução de perdas. Para o cálculo deste valor foi utilizada a equação (9):

$$VFRP(R\$) = \sum (PPL(m^3) \times VFTL(R\$)) \quad (9)$$

onde:

VFRP = valor faturado redução de perdas

PPL = perdas de água parciais por tipo de ligação

VFTL = valor faturado por tipo de ligação

Com a análise de consumo de água medido no sistema CR portão nos períodos analisados e da quantidade de pessoas atendidas pelo CR Portão, foi possível calcular o consumo de água per capita por habitante e dia. Para o cálculo desse valor foi usada a equação 10:

$$HL = \frac{VM}{NHS} \quad (10)$$

onde:

HL = Habitante por Ligação dia

VM = Volume consumido Medido

NHS = Número de Habitantes do Sistema

Várias foram às relações feitas nesse trabalho, como coletar dados de pressão dos períodos avaliados, examinar suas variações e diferenças de amplitude, parâmetros importantes para a manutenção e controle de perdas de água no abastecimento. Demonstrar o funcionamento do controle de pressão automatizado a partir do acionamento de CMB's por conversores de frequência controlados pela variável de pressão, que além da redução de perdas proporciona economia de energia no sistema de bombeamento. Calcular e demonstrar os indicadores de performance dos sistemas a partir dos dados de volume produzido e volume consumido dos períodos analisados. Mensurar o ganho de capital oriundo da redução de perdas de água em relação ao valor faturado pela empresa e demonstrar o retorno sobre investimento da automação do controle de pressão no CR Portão.

Além da automação existem outras variáveis sobre a extensão de um sistema de abastecimento de água, como a manutenção das tubulações, substituições dos anéis de interligações hidráulicas, controle de fraudes e ligações irregulares que colaboraram para a manutenção e melhoria contínua do sistema.

4.4 CUSTO DE IMPLEMENTAÇÃO DA AUTOMAÇÃO NO CR PORTÃO

Através de pesquisas e dados coletados da Unidade de Projetos Especiais da SANEPAR (USPE), foi possível identificar o valor contratado da obra do CR Portão, onde foram separados os diversos itens de obra como pintura, instalação de iluminação e revitalização estrutural. Porém para este trabalho foram considerados

apenas os elementos do sistema de automação necessários para o controle de pressão automático via conversores de frequência, foco do estudo de caso. Os dados referentes a estes custos foram listados no QUADRO 13.

RESUMO CUSTO AUTOMAÇÃO CR PORTÃO	MATERIAIS (R\$)	MÃO DE OBRA (R\$)	TOTAL (R\$)
Instalação e ramal alimentador do QDF-01	15.076,03	4.700,00	19.776,03
Instalação e ramal alimentador do QDF-1B	2.685,39	1.300,00	3.985,39
Malha de aterramento da entrada de energia, subestação e malha de aterramento geral	6.782,00	542,56	7.324,56
Ramais alimentadores das bombas B1 e B2, 175CV/440V	96.687,42	8.750,00	105.437,42
Ramais alimentadores das bombas B3, B4 E B5, 250CV/440V	199.009,68	12.300,00	211.309,68
Ramal alimentador do QA existente	441,86	110,00	551,86
Ramal alimentador dos QB's	5.239,97	750,00	5.989,97
Instalação do medidor de vazão FT04 e FT08	3.927,07	950,00	4.877,07
Instalação dos sensores de pressão contra sucção	21.761,33	2.250,00	24.011,33
Quadro de automação (QA)	50.000,00	1,00	50.000,00
Serviços especializados em automação	0,00	43.500,00	43.500,00
QDF-1 A, QDF – 1 B	92.400,00	0,00	92.400,00
QB-01, QB-02, QB-03, QB-04, QB-05	7.750,00	0,00	7.750,00
TOTAL	501.760,75	75.153,56	576.913,31

QUADRO 13 - CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO DA AUTOMAÇÃO

FONTE: ADAPTADO DA SANEPAR - USPE

4.5 VISITA DE CAMPO

Após a definição da área de estudo, foram realizadas sete visitas de campo ao CR Portão para verificar as condições de instalação dos equipamentos e conferir como foram implementadas as tecnologias de automação deste sistema.

Foi analisado todo o quadro de automação, as interfaces deste sistema aos CMB's e coletados dados dos sensores e equipamentos, como os conversores de frequência e realizados testes junto ao setor operacional em relação as lógicas e comandos de liga e desliga remotos do sistema, via manipulação do *set point* de pressão do sistema junto ao monitoramento lógico com o uso de ferramenta de programação, notebook com o software do CLP SIEMENS ET200 S, portal TIA v.11.

Foram realizadas cinco visitas ao CCO para aquisição dos dados do sistema SCADA, enquanto que na unidade de receita (URCTS) à qual o CR Portão é vinculado foram realizadas três visitas para aquisição de dados dos volumes micromedidos do sistema.

5 RESULTADOS E DISCUSÕES

Neste capítulo serão demonstrados os cálculos e os resultados das análises comparativas entre o controle de pressão, indicadores de perdas de água, manutenções na rede de distribuição e redução no consumo de energia elétrica do sistema CR Portão nos períodos analisados maio 2012 e maio de 2013.

5.1 CONTROLE DAS PRESSÕES

No sistema de abastecimento de água automatizado do CR Portão, a aquisição de dados começa no CLP e estas são responsáveis pela maioria das ações automáticas executadas. Isso porque há uma grande distribuição geográfica dos elementos envolvidos. Os dados são compilados e formatados de tal forma que um operador do centro de controle operacional, por meio do sistema supervisorio que compõe o SCADA possa alterar os parâmetros de decisão do sistema.

O controle de pressão no CR Portão consiste no controle automático da pressão do sistema de bombeamento, no qual o operador, através do aplicativo computacional determina o valor de referência (*set point*) da pressão, ou seja, o controle automático da pressão é feito por um CLP localizado na estação, que envia e recebe dados do supervisorio do SCADA, responsável pelo desempenho global do sistema.

Serão apresentados alguns gráficos coletados do sistema SCADA do CR Portão, onde é possível fazer uma análise comparativa do sistema antes e após o controle de pressão automatizado.

5.2 ANÁLISE DE DADOS E RESULTADOS OBTIDOS

5.2.1 Avaliação temporal da pressão

O controle de pressão efetuado no CR Portão após a Automação, permitiu a otimização desse sistema. Na FIGURA 24 é demonstrada a pressão registrada no PT01, delimitada em uma escala de 0 a 50 mca entre os dias 01/05/2012 e 31/05/2012, suas variações, amplitude de faixa e picos máximos e mínimos.

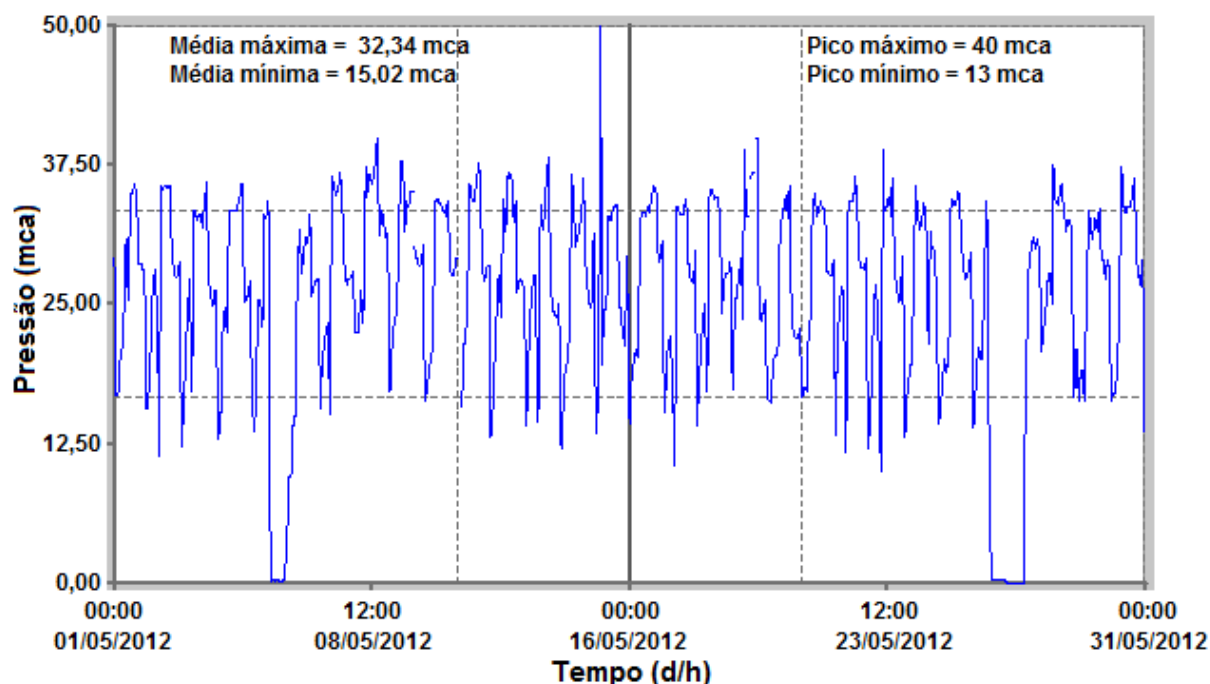


FIGURA 24 - PRESSÃO MAIO 2012

FONTE: Adaptado de SANEPAR - SCADA (2014)

NOTA - 1 mca equivale a 9806,65 Pa ou a 0,0980665 bar

A partir da análise foi possível encontrar várias causas citadas na revisão bibliográfica, por Tardelli Filho (2004, p. 471) e Covas e Ramos (2007, p. 58), que identificam situações inadequadas no funcionamento de um sistema de abastecimento de água e aumento da probabilidade de fugas e rupturas nas tubulações da rede de distribuição, tais como: oscilações de pressão, amplitude entre a pressão mínima e máxima durante os regimes transitórios e a frequência das oscilações de pressão.

O sistema SCADA disponibilizou junto ao gráfico selecionado os valores da média de pressão alta, quando o sistema demandou maior consumo de água com valor de 32,34 mca, com diversos picos na casa dos 40,00 mca, enquanto a média da pressão mínima, quando o sistema demandou menor consumo foi de 15,02 mca, com picos na casa dos 13,00 mca. Nesta situação a amplitude entre as pressões máxima e mínima foi de 17,32 mca e a amplitude dos picos máximos e mínimos 27 mca. As oscilações neste período além de não estabilizarem em um valor definido de consumo em relação ao tempo, variaram cerca de 90 vezes entre bordas de subida e descida da pressão, descartando-se pequenas variações.

A FIGURA 25, representa a variação da pressão, escala de 0 a 50 mca no período de 01/05/2013 até 31/05/2013 após a automação, onde o CLP comandava

os conversores de frequência para acionamento dos CMB's, controlados pelos *set point's* de pressão inseridos no sistema SCADA.

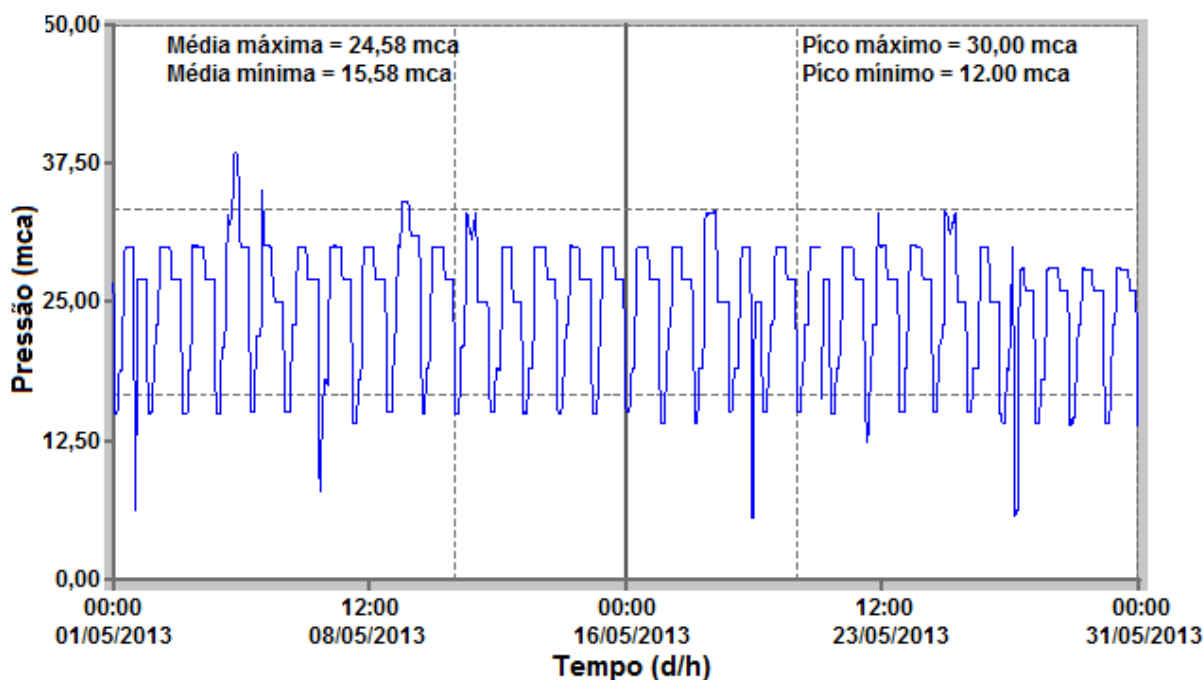


FIGURA 25 - PRESSÃO MAIO 2013

FONTE: Adaptado de SANEPAR – SCADA (2014)

NOTA - 1 mca equivale a 9806,65 Pa ou a 0,0980665 bar

Fazendo a análise da FIGURA 25, foi possível verificar que a pressão obedeceu a padrões pré-estabelecidos quanto aos seus valores e variações temporais, se estabilizando durante os períodos configurados. Foi possível verificar os valores disponibilizados pelo sistema SCADA, em que a média de pressão máxima, quando o sistema demandou maior consumo de água foi de 24,58 mca, com poucos picos na casa de 30,00 mca, enquanto a média de pressão mínima quando o sistema demandou menor consumo foi de 15,58 mca, com poucos picos mínimos na casa dos 12,00 mca. Nesta situação foi possível identificar a amplitude entre a pressão máxima e mínima em 9,00 mca e entre a variação dos picos em 18 mca. As oscilações além de estabilizarem em função do *set point* de pressão em relação ao tempo no controle automático tiveram 68 variações no período, que correspondem as mudanças dos patamares de pressão, conforme os *set point's* solicitados e ao controle operacional que pode ser realizado conforme necessidade do sistema.

Comparando-se os dois gráficos percebeu-se que além da diminuição da faixa da pressão após a implementação da automação, sua variação temporal

obedeceu aos *set point's* de pressão, fazendo um gráfico uniforme. A diferença entre os patamares da pressão média no período de maior demanda reduziu seu valor em 15,42 mca. Na demanda de menor pressão praticamente não houve alteração, apenas uma pequena elevação de 0,56 mca.

Fazendo-se analogia entre as médias de maior e menor pressão entre os dois períodos avaliados, a redução da amplitude entre as pressões após a automação representou um percentual de 48,04% em comparação ao período antes da automação, além de uma redução em torno de 24,44% em relação ao número de oscilações que, segundo os autores Gomes, Otero e Coura (2009, p. 311), garantem um nível de serviço mais uniforme à população e reduzem a frequência de ocorrência de rupturas e perdas de água na rede de distribuição.

A seguir, TABELA 1, são alocados os dados de pressão coletados do sistema SCADA, com a representação dos resultados obtidos do sistema após a automação.

TABELA 1 - RESULTADOS DO CONTROLE DE PRESSÃO

MEDIÇÕES DE PRESSÃO (mca)	MAIO 2012	MAIO 2013	AUMENTO/REDUÇÃO PERCENTUAL (%)
Média do valor máximo	32,34	24,58	- 23,99
Média do valor mínimo	15,02	15,58	+ 3,72
Amplitude das pressões médias	17,32	9,00	- 48,04
Valor do pico máximo	40,00	30,00	- 25,00
Valor de pico mínimo	13,00	12,00	- 7,69
Amplitude das pressões de pico	27,00	18,00	- 33,33
Variação da oscilação	90,00	68,00	- 24,44

FONTE: O Autor (2014)

NOTA - 1 mca equivale a 9806,65 Pa ou a 0,0980665 bar

5.2.2 Análise detalhada do controle de pressão

Os gráficos a seguir são uma representação da variação de pressão, escala de 0 a 50 mca, compreendidas no intervalo de tempo reduzido de três dias dos períodos avaliados, de 14 à 17 de maio de 2012 e maio de 2013, com intervalo entre as marcações do período, eixo X, em 18 hs e mostram com uma melhor definição o comportamento da pressão e a diferença entre os controles de pressão realizados antes e após a automação.

A FIGURA 26 representa os valores de pressão, no período antes da automação do controle de pressão do sistema.

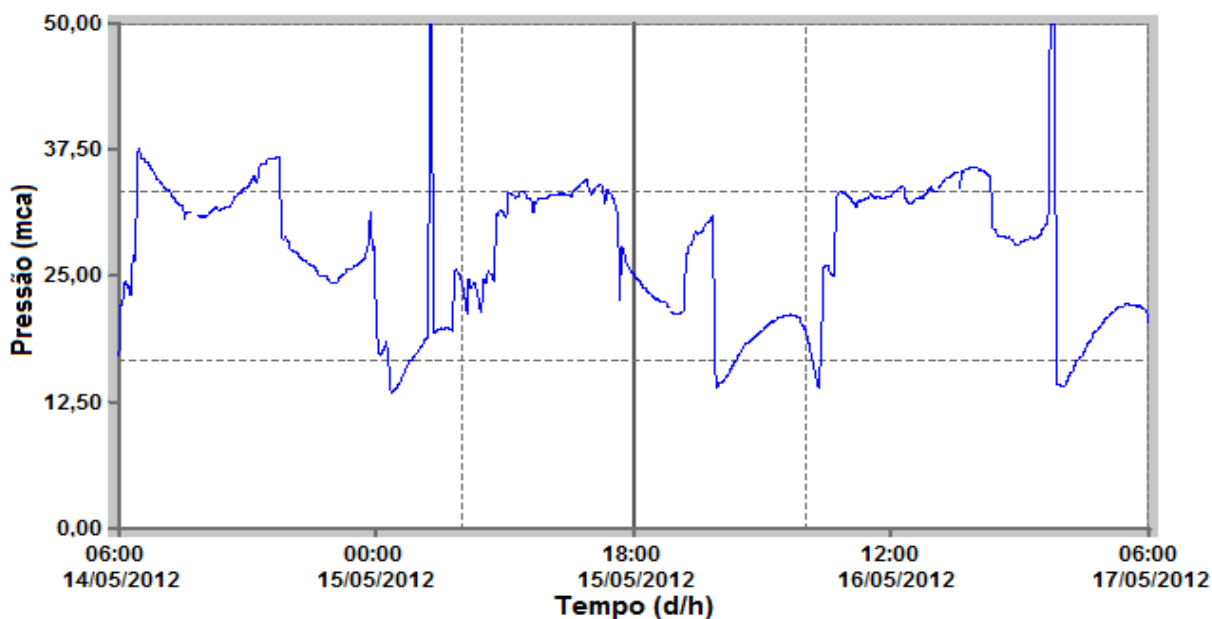


FIGURA 26 - PRESSÃO DETALHADA MAIO 2012 (3 DIAS)

FONTE: Adaptado de SANEPAR – SCADA (2014)

Na FIGURA 26, tem-se uma visão detalhada da variação de pressão, onde é possível verificar as variações das pressões médias e os picos elevados ao qual a pressão chegou.

Enquanto a FIGURA 27, representa os valores de pressão, no período após a automação do controle de pressão do sistema.

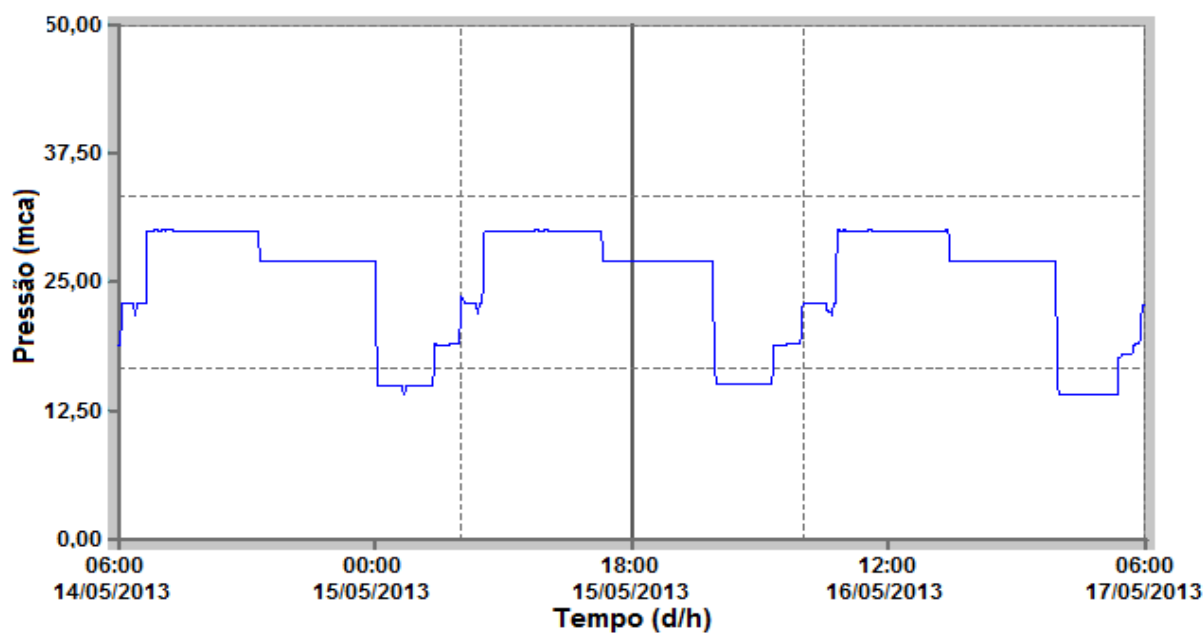


FIGURA 27 - PRESSÃO DETALHADA MAIO 2013 (3 DIAS)

FONTE: Adaptado de SANEPAR – SCADA (2014)

Analisando a FIGURA 27, verificou-se a qualidade do controle de pressão e a estabilidade do sistema, além do controle desta variável entre os períodos distintos do *set point* de pressão durante o dia.

É possível notar também neste gráfico a existência de cinco faixas de *set point's* distribuídas e pré-determinadas para o controle de pressão do sistema, que se alteram em função do intervalo de horas durante o dia e refletem na demanda de consumo de água da região. Estes valores podem ser vistos na TABELA 2 e representam o controle de pressão operacional, conforme a FIGURA 27.

TABELA 2 – SET POINT DE PRESSÃO

FAIXA DE SET POINT	INTERVALO DO SET POINT (hs)	VALOR DO SET POINT (mca)
01	00:00 às 04:00	14,90
02	04:00 às 06:00	19,00
03	06:00 às 08:00	23,00
04	08:00 às 16:00	30,00
05	16:00 às 24:00	27,00

FONTE : Adaptado de SANEPAR – USPD (2014)

NOTA - 1 mca equivale a 9806,65 Pa ou a 0,0980665 bar

Com este intervalo de tempo reduzido, ficou ainda mais evidente a estabilização da pressão na rede de distribuição proporcionada pelo controle de pressão automatizado, além da possibilidade do detalhamento do funcionamento do sistema de bombeamento, conforme a FIGURA 28.

5.2.3 Controle de pressão por conversores de frequência

Na FIGURA 28, é possível observar a forma como os conversores de frequência atuam sobre o sistema de bombeamento para realizar o controle dos *set point's* de pressão, que são alterados manualmente pelos operados no sistema SCADA.

A variação das penas, linhas, de cada um dos CMB's correspondem a variação da frequência dos conversores de frequência, escala de 0 a 100 Hz e consequentemente à variação de velocidade de rotação dos motores, responsáveis pelo recalque de água. Desta forma é possível executar o controle de pressão.

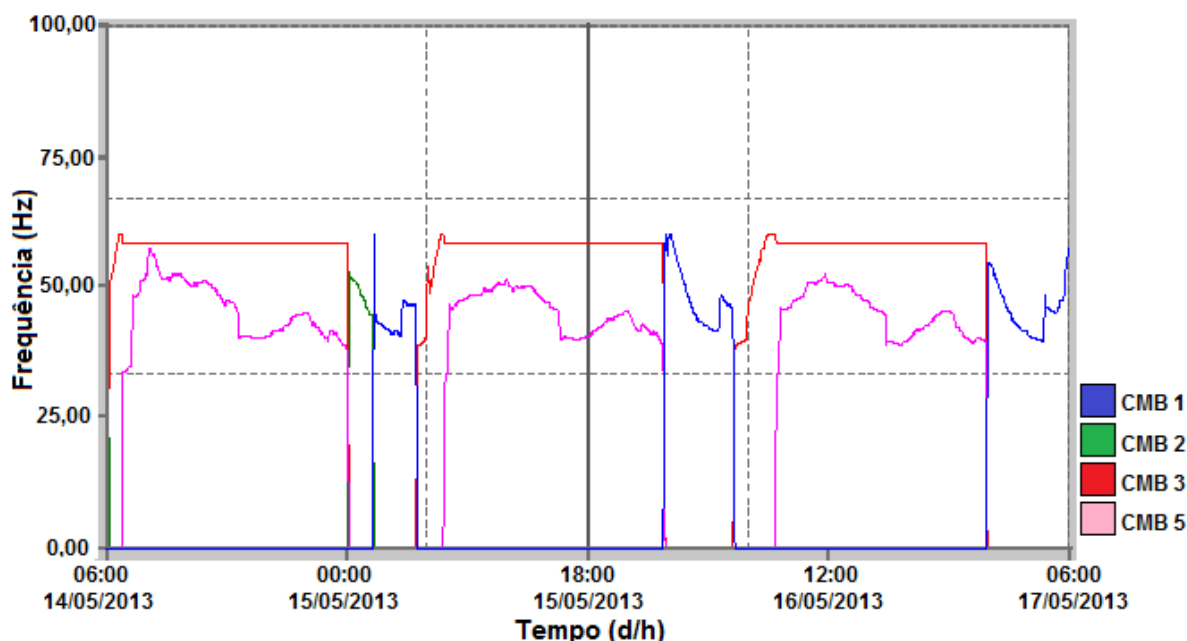


FIGURA 28 - FREQUÊNCIA MAIO 2013 (3 DIAS)
 FONTE: Adaptado de SANEPAR - SCADA (2014)

A elevatória EET02 foi configurada para operar nos períodos de *set point's* de maior pressão, patamar diurno, faixas 3, 4 e 5 da TABELA 2 que vão das 06:00 hs até 24:00 hs, onde foram acionados os CMB's de maior capacidade, CMB 3 e CMB 5.

Analizando o gráfico, nota-se que as 06:00 foi habilitado o controle da EET02, PT01. Nesse momento o *set point* de pressão foi alterado de 19 mca para 23 mca. O sistema acionou o CMB 3, pena vermelha, que foi escolhido pelo CLP como bomba principal e controlou via conversor de frequência a velocidade da bomba para atingir o *set point* da variável controlada PT01. Aproximadamente às 07:00 hs o consumo aumentou consideravelmente e o CMB 3 foi comandado pelo CLP a trabalhar em plena carga. Porém, como não conseguiu manter sozinho a pressão definida para o sistema, o CLP acionou a bomba complementar CMB 5, pena rosa, que passou a ser a bomba controlada pela lógica PID e variou a velocidade do motor para atender a pressão determinada do sistema para o período, enquanto a bomba principal continuou a funcionar em plena carga. Próximo às 08:00 hs houve uma breve elevação do consumo, onde foi possível observar no gráfico que ambas as bombas, principal e complementar trabalharam a plena carga para manter a pressão. A partir das 08:00 hs foi efetuada novamente a mudança da faixa do *set point* de pressão de 23 mca para 29 mca. Esta faixa foi até às 16:00 hs e nela foi possível analisar que a bomba principal ficou ligada constantemente e a bomba

complementar variou sua rotação para atender a pressão determinada para o período. Às 16:00 hs o *set point* de pressão mudou de 30 mca para 27 mca, permanecendo assim até às 00:00 hs e a bomba complementar continuou variando sua velocidade para atender ao controle de pressão.

Caso o consumo de água caísse e a bomba controlada chegasse a seu nível de frequência mínimo preestabelecido no CLP, a bomba complementar desligaria após um breve período programado no CLP e a bomba principal voltaria a modular, variando sua rotação, continuando a comandar o sistema em função da pressão requerida.

Voltando a análise da FIGURA 28, foi possível observar que a partir da 00:00 hs a faixa pressão mudou de 27 mca para 15 mca e neste período o CLP desabilitou a EET02 e habilitou a EET01, utilizando os CMB's de menor capacidade para o patamar noturno, onde o consumo é menor. Neste momento os CMB 3 e CMB 5 da EET02 foram desligados e o CMB 2, pena verde, da EET01 foi ligado. O CMB 2 foi escolhido como bomba principal, foi para a frequência máxima para atender a pressão requerida, diminuindo gradativamente sua variação de frequência até às 02:00 hs. Neste momento foi possível observar que o CMB 2 chegou ao seu tempo programado para rodízio, desligou e habilitou o CMB 1 para funcionamento. O CMB 1 passou a controlar a pressão via variação da velocidade pelo conversor de frequência até a próxima mudança de *set point* as 4:00 hs. Neste momento o *set point* mudou de 15 mca para 19 mca, onde foi possível observar que o conversor aumentou a frequência do CMB 1 e consequentemente sua velocidade para atender a pressão até as 06:00 hs, período do novo *set point*. A partir deste momento foi possível observar no gráfico da FIGURA 28 que a lógica de funcionamento do controle foi praticamente a mesma durante os próximos 2 dias do período avaliado.

Fazendo a análise do funcionamento do sistema de bombeamento através da FIGURA 28, correlacionado ao controle de pressão da FIGURA 25, notou-se o quanto o controle de pressão automatizada com o uso de conversores de frequência permitiu gerenciar esse sistema de abastecimento de água, no qual sem esse tipo de controle uma bomba ligada poderia ser pouco para satisfazer a demanda de consumo de água da região e duas bombas poderiam ser muito, aumentando a pressão na rede, provocando desgaste de equipamentos, aumento de rupturas e vazamentos no sistema de distribuição, conforme descrito na referência bibliográfica por Tsutiya (2007, p. 106).

É importante salientar que a partir do momento em que forem separadas as zonas de pressão desse sistema previstas para julho de 2014, o sistema deixará de funcionar pela seleção das elevatórias em patamares diurno e noturno, pela pressão do sensor de cada elevatória em controle e passará a funcionar independente para cada elevatória, controlando a pressão de cada zona de pressão da rede de distribuição, zona alta e zona baixa, o que provavelmente irá melhorar o controle e a performance do sistema.

5.2.4 Controle de potência pela utilização de conversor de frequência

Para o sistema antigo, referente a maio de 2012, antes da automação, não foi possível a aquisição de dados das grandezas elétricas dos CMB's junto ao sistema SCADA. Portanto não foi possível fazer analogia da frequência, nem da corrente desses CMB's do CR Portão, pois antes da automação eles funcionavam local ou remotamente a plena carga e o controle da pressão do sistema era feito por operadores via estrangulamento de válvulas.

No gráfico a seguir, FIGURA 29, foi mostrado os valores de corrente elétrica dos CMB's em maio de 2013, escala de 0,00 a 300,00 A e feita a análise da importância deste tipo de controle para economia de energia, controle dos equipamentos e processos no sistema de abastecimento.

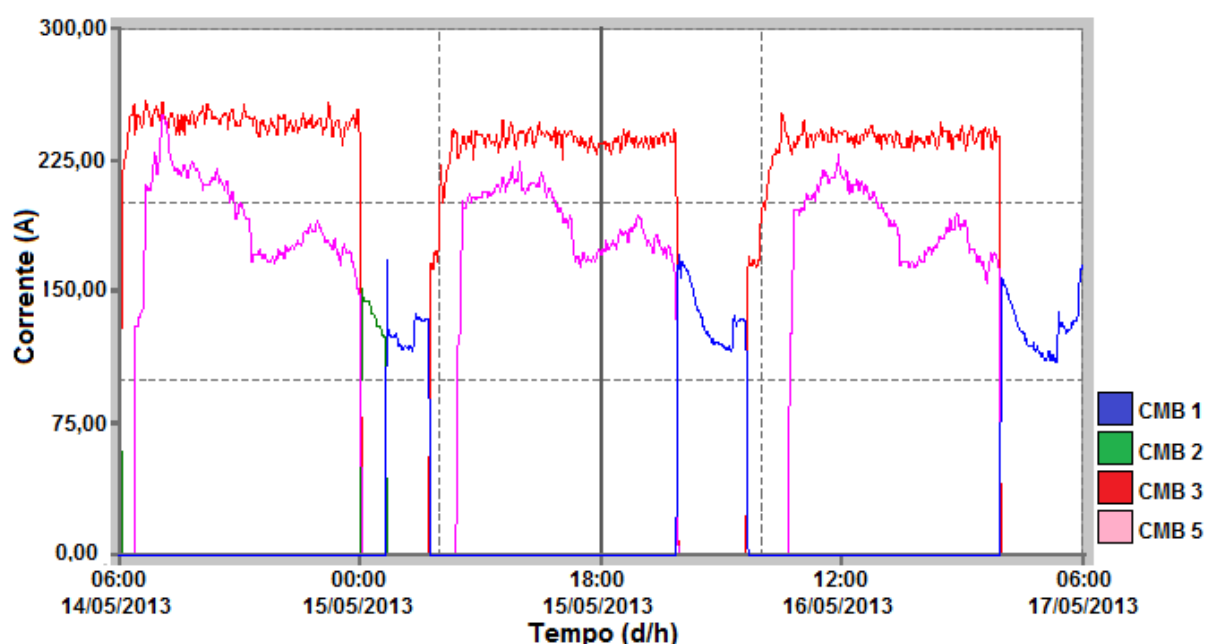


FIGURA 29 - CORRENTE MAIO 2013 (3 DIAS)
FONTE: Adaptado de SANEPAR – SCADA (2014)

Analizando a FIGURA 29, foi possível notar que o controle de pressão automático, além de diminuir o patamar e diferença entre as variações de pressão, reduziu o nível de consumo energético, pois quando o motor trabalha com uma frequência menor, também trabalha com uma corrente menor, conforme representação das penas, linhas da FIGURA 29, o que diminui o consumo de energia, conforme descrito por Silva (2009, p. 149). É possível observar também que a corrente é diretamente proporcional à frequência, ou seja, como a variação da rotação do motor se dá pela curva Tensão/Frequência do conversor de frequência, conforme descrição de Rodriguez e Luvizotto Junior (2013, p. 4), o controle de pressão via conversores de frequência diminuiu consideravelmente o gasto energético do sistema, além de preservar tubulações e equipamentos que antes da automação recebiam pressão e vazão plenas fornecidas pelos CMB's, onde era necessário restringir válvulas com enorme perda de carga e desgastes para tentar controlar a pressão.

5.2.5 Manutenção de redes e ramais de distribuição de água

O aumento de vida útil dos materiais e equipamentos da rede de distribuição, pode ser verificado na TABELA 3, que demonstrou o número de manutenções realizados na rede de distribuição nos períodos de tempo, maio de 2012 e maio de 2014 selecionados para a análise.

TABELA 3 – MANUTENÇÃO DE REDES E RAMAIS DE DISTRIBUIÇÃO

	CONCERTO DE REDES	CONCERTO DE RAMAIS
MAIO 2012	38	93
MAIO 2013	34	50
DIFERENÇA	- 04	- 43
REDUÇÃO (%)	- 10,52	- 46,23

FONTE: Adaptado de SANEPAR - SAPIENS (2014)

A análise dos gráficos apresentados demonstrou que o investimento em automação foi vantajoso para o sistema de abastecimento de água, impactando na qualidade do sistema e na melhoria do serviço prestado ao consumidor final, com a finalidade, segundo Gomes (2004, p. 30) de garantir que em cada ponto consumidor a água chegue com vazão precisa, pressão suficiente e com qualidade.

5.2.6 Indicadores de performance do sistema

Para validar a teoria apresentada nas referências bibliográficas e comprovar a eficiência do modelo do controle de pressão automática, foram coletados diversos dados em diferentes setores da SANEPAR, visando chegar a resultados concretos e mensuráveis do ganho do sistema CR Portão após a implementação da automação, tanto em relação a perdas no sistema de abastecimento, quanto em redução do consumo de energia elétrica.

A TABELA 4, representa os valores coletados de entrada de água no CR Portão, volume produzido (VP) e os valores medidos consumidos (VM), que são os valores registrados nos períodos avaliados, maio de 2012 e maio de 2013, além do número de ligações ativas dos dois períodos avaliados, que serviram como base de cálculo para os indicadores de perdas.

TABELA 4 – BASE DE DADOS PARA CÁLCULO DE PERDAS

PERÍODO AVALIADO	VOLUME PRODUZIDO (m³)	VOLUME CONSUMIDO (m³)	NÚMERO DE LIGAÇÕES ATIVAS (NA)
MAIO 2012	1.532.266	972.266	39.314
MAIO 2013	1.454.856	995.947	39.860

FONTE: Adaptado de SANEPAR – SCADA (2014)

5.2.6.1 Indicador Percentual de perdas

Aplicando a equação 1, referente ao cálculo do indicador de perdas percentual aos dados coletados na TABELA 4, foi possível calcular o indicador de perdas percentual (IP%), inserido na TABELA 5.

TABELA 5 - INDICADOR DE PERDAS PERCENTUAIS

	VP (m³)	VM (m³)	VOLUME PERDIDO (m³)	ÍP (%)
MAIO 2012	1.532.266	972.266	560.000	36,54
MAIO 2013	1.454.856	995.947	458.909	31,54
DIFERENÇA	- 77.410	+ 23.681	- 101.091	- 5,00
AUMENTO/REDUÇÃO (%)	- 5,05	+ 2,43	- 18,05	-

FONTE: O Autor (2014)

Comparando-se o valor do volume desperdiçado nos dois períodos, nota-se que a economia de água de maio de 2013 em relação a maio de 2012 é de 18,05%,

o que representa 101.091 m³ de água, no qual o indicador de perdas percentual passou de 36,54% para 31,54% de maio de 2013 em relação a maio de 2012.

5.2.6.2 Índice de perdas por ligação (IPL)

Aplicando a equação 2, referente ao cálculo do indicador de perdas por ligação (IPL) aos dados coletados na TABELA 4, foi possível calcular o IPL, representado na TABELA 6.

TABELA 6 - INDICADOR DE PERDAS POR LIGAÇÃO

	VP (m ³)	VM (m ³)	VOLUME PERDIDO (m ³)	Nº LIGAÇÕES ATIVAS	ÍPL (L/ligação*dia)
MAIO 2012	1.532.266	972.266	560.000	39.314	459,49
MAIO 2013	1.454.856	995.947	458.909	39.860	371,38
DIFERENÇA	- 77410	+23681	- 101091	+ 546	- 88,11
RESULTADO (%)	- 5,05	+ 2,43	-18,05	+ 1,38	- 19.17

FONTE: O autor (2014)

Diminuindo o valor do IPL de um ano para o outro, 459,49 L/ligação*dia – 371,38 L/ligação*dia, obteve-se uma redução de perda por ligação em 2013 após a automação de 88,11 L/ligação*dia. Uma redução percentual de perdas de maio de 2013 em relação a maio de 2012 de 19,17%.

Analizando os dados coletados e fazendo a comparação dos períodos de maio de 2013 em relação à maio de 2012, observou-se que após a automação o volume de água fornecida ao CR Portão pela elevatória do CR Corte Branco reduziu em 5,05 pontos percentuais, apesar do volume disponibilizado ao usuário final ter aumentado em 2,43%. Este fato se deve a implantação do controle automático de pressão, onde foi possível reduzir as perdas percentuais do sistema, que é a relação do volume de água que entra no sistema, volume produzido (VP) pela relação do volume de água medido consumido pelo usuário, (VM), em 18,05%.

Analizando os dados obtidos, junto ao número de ligações ativas do sistema, foi possível identificar que em 2013 houve um acréscimo de 1,38% de novas ligações, além da possibilidade de calcular o índice de perdas por ligação (IPL), um indicador de perdas mais completo, que analisa as perdas em relação ao número de ligação ativas, proporcionando maior confiabilidade, pois este indicador permite por

exemplo, comparar diferentes sistemas e períodos de tempo, pois a unidade analisada é referenciada a perda unitária de cada ligação do sistema avaliado. Com esse indicador a redução do gasto de água de maio de 2013 em relação a maio de 2012 foi ainda mais expressiva, chegando ao valor de 19,17%.

5.2.7 Desperdício de água

Com a análise do consumo de água medido no sistema CR portão nos períodos analisados, do número de ligações ativas no sistema e da quantidade de pessoas atendidas pelo CR Portão, foi possível mensurar o número de habitantes por ligação ativa e calcular o consumo de água per capita por habitante e dia, conforme equação 10.

Efetuando os cálculos, chegou-se ao valor que em 2013 o consumo de água por habitante e dia foi de 147,55 litros, o que segundo o SNIS (2011) esta abaixo da média nacional de 162,6 litros por habitante e dia, porém acima em 34,13% da recomendação da OMS (2014) de 110 litros habitante e dia, ou seja 52,6 litros de desperdício diário por habitante.

5.2.8 Ganho de capital com economia das perdas

Como o custo de tratamento de água do sistema Iguaçu com o uso de produtos químicos foi de aproximadamente R\$ 0,046 por m³ de água tratada é possível mensurar que os 108.874,00 m³ de água que deixou de ser desperdiçado de um ano para o outro representaram um valor de R\$ 5.008,20 em produtos químicos.

Já em relação aos custos operacionais totais da SANEPAR, energia, mão de obra, materiais, produtos químicos, entre outros, de R\$ 1,43 por m³, é possível mensurar que os 108.874,00 m³ de água que deixou de ser desperdiçado de um ano para o outro representaram um valor de R\$ 155.689,82.

Utilizando o indicador de perdas por ligação (IPL) e os valores das tarifas do m³ de água aplicados em 2013 pela SANEPAR para cada tipo de ligação, foi possível realizar cálculos (equações 2,6,7,8,9) da metodologia, que permitiram chegar ao valor financeiro economizado com as reduções de perdas, após o advento

da automação, representados na TABELA 7, que passaram a ser faturados junto aos clientes da SANEPAR.

TABELA 7 – POTENCIAL FINANCEIRO DA REDUÇÃO DE PERDAS

TIPO DE LIGAÇÃO	VALOR m ³ DA ÁGUA EM 2013 (R\$)	VOLUME FATURADO EM MAIO DE 2013 (m ³)	PORCENTUAL DE VOLUMES (%)	ECONOMIA DE ÁGUA APÓS A AUTOMAÇÃO (m ³)	ECONOMIA FINANCEIRA (R\$)
Comercial	4,78	117.221	11,77	12.814,47	61.253,16
Residencial	3,54	857.009	86,05	93.686,07	331.648,68
Tarifa social	0,62	21.717	2,18	2.373,45	1.471,54
TOTAL	-	995.947	100,00	108.874,00	394.373,38

FONTE: O Autor (2014)

5.2.9 Economia de energia

Além dos ganhos apresentados, tem-se ainda a redução de consumo de energia elétrica pelo uso de conversores de frequência que demonstraram o quanto foi possível otimizar o sistema de abastecimento de água. Na TABELA 8, estão representados os valores de consumo de energia elétrica, valor da fatura e o período de tempo referente a essas leituras, além do número de ligações de água ativas que receberam água das elevatórias e do volume consumido medido no CR Portão nos períodos analisados, maio de 2012 e maio de 2013. Ou seja, para esses cálculos foram desconsiderados o volume de água consumido pelas ligações ativas da gravidade, pois o gasto energético calculado diz respeito ao consumo de energia para funcionamento das estações elevatórias aos consumidores referentes a esse recalque.

TABELA 8 - CONSUMO DE ENERGIA E CUSTO ENERGÉTICO

	DIAS LIDOS PARA FATURA	NUMERO LIGAÇÕES ATIVAS EET 01-02	VM (m ³)	CONSUMO ENERGIA (KWh)	TOTAL FATURA (R\$)	TOTAL FATURA 31 DIAS (R\$)
MAIO 2012	29	32.464	842.877	157.923	49.770,96	53.203,44
MAIO 2013	31	32.464	856.833	143.342	39.596,27	39.596,27
DIFERENÇA	-	-	+13.956	- 14.581	-10.174,69	-13.607,17
RESULTADO (%)	-	-	+1,65	- 9,23	- 20,44	- 25,57

Adaptado de SANEPAR - USPD (2014)

A partir dos valores da TABELA 8, foi possível calcular a relação de energia por número de ligações dias (REL) de leitura da fatura em WATT/HORA (W/h) por ligação *dia, equação 5, além do volume consumido medido por ligação dia (VML), equação 3, que permitiu demonstrar o perfil de consumo médio diário de cada ligação entre os anos analisados, conforme TABELA 9.

TABELA 9 – RELAÇÕES DO POTENCIAL DA REDUÇÃO DE PERDAS

	VML (litro/ ligação*dia)	REL (energia em Wh/ ligação*dia)
MAIO 2012	837,53	167,74
MAIO 2013	851,39	142,43
DIFERENÇA	+ 13,86	+ 25,31
RESULTADO (%)	+ 1,65%	+ 15,08

Adaptado de SANEPAR - USPD (2014)

A partir da TABELA 8, também foi possível calcular o consumo e fatura energética diária em relação ao período da fatura dos meses analisados, maio de 2012, (29 dias) e maio de 2013, (31 dias), efetuar o cálculo de volume em relação ao período de 31 dias desses meses e fazer o cálculo das relações entre o consumo de energia diário pelo volume consumido medido diário e do custo de energia diário em relação ao volume consumido medido diário, conforme TABELA 10.

TABELA 10 - RELAÇÕES DO CONSUMO, VOLUME E CUSTOS DIÁRIOS

	CONSUMO KWh/DIA	FATURA R\$/DIA	VM (m³)/DIA	CONSUMO ENERGIA DIA/ VOLUME DIA (KWh/ m³)	CUSTO ENERGIA/ VOLUME (R\$/m³)
MAIO 2012	5.445,62	1.716,24	27.189,58	0,1873	0,0631
MAIO 2013	4.623,93	1.277,29	27.639,77	0,1673	0,0462
DIFERENÇA	- 821,69	- 438,95	+ 450,19	-0,02	- 0,0169
RESULTADO (%)	- 15,08	- 25,57	+ 1,65	- 10,67	- 26,78

Adaptado de SANEPAR - USPD (2014)

Foi possível observar que após a automação, foi gasto proporcionalmente menos energia 15,08% no sistema em maio de 2013, para fornecer mais água, com menos perdas para o cliente final, reduzindo proporcionalmente o custo de produção de água tratada e insumos para este tratamento, além da diminuição de manutenções na rede pelo controle de pressão efetuado.

A redução de gastos de energia bruta de um período para o outro foi de R\$ 10.174,69, porém usando a mesma base de tempo entre os períodos pelo

indicador de energia dia, multiplicando pelos 31 dias dos meses de maio, foi possível calcular que a redução de energia no mês de maio de 2013 foi de R\$ 13.607,45 que somados aos R\$ 394.329,93 que a economia de perdas de água propiciou chegaram a um valor de R\$ 407.937,38, o que comprovou a teoria de que o controle de pressão consegue reduzir os custos operacionais de um sistema de abastecimento de água.

Além disso, foi possível observar que em 2013 foi necessário menos água da elevatória de recalque do CR Corte Branco que encaminha água ao CR Portão, apesar do aumento de consumo registrado na micromedição pelos hidrômetros do sistema Portão no período avaliado. Um ganho não só no CR Portão, mas no sistema de abastecimento como um todo.

Seria importante que este tipo de controle fosse implementado em todo o sistema de abastecimento, onde a automação poderia auxiliar a busca da excelência dos sistemas de abastecimento de água.

5.2.10 Retorno sobre investimento

Com os valores dos custos de fornecimento de água ao cliente final e os custos dos valores faturados pela SANEPAR em maio de 2013, devido a redução de perdas propiciado com o advento da automação, somados a economia de energia propiciada pelo controle de pressão, (TABELA 8), foi possível fazer uma relação entre o valor gasto para implementação da automação e o valor obtido com a otimização do sistema e redução das perdas, que demonstraram o tempo de retorno sobre o investimento em automação no CR Portão, tanto com relação aos custos da empresa, quanto ao valor cobrado e faturado pela mesma, conforme TABELA 11.

TABELA 11 – RETORNO SOBRE INVESTIMENTO

	CUSTO FONECIMENTO ÁGUA	CUSTO VALOR FATURADO SANEPAR
	155.689,82	394.373,38
VALOR ENERGIA ECONOMIZADA	13.607,45	13.607,45
TOTAL	169.297,27	407.937,38
CUSTO AUTOMAÇÃO CR PORTÃO	576.913,31	576.913,31
RETORNO SOBRE INVESTIMENTO (MESES)	3,40	1,42

FONTE: O autor (2014)

5.3 DISCUSSÕES

Os principais atrativos para justificar o investimento em automação residem na melhoria da qualidade do tratamento de água, por meio do monitoramento e controle em tempo real, redução de custos operacionais através do gerenciamento de energia elétrica consumida, redução da quantidade de produtos químicos utilizados para o tratamento e controle de perdas físicas no sistema.

O estudo de caso no CR Portão permitiu demonstrar os ganhos reais que o controle de pressão automática proporcionou, porém o ideal seria uma análise com um período de tempo maior.

Os resultados obtidos condizem com as práticas relatadas nas referências bibliográficas da pesquisa e comprovam a validação do controle de pressão automática:

- Tardelli Filho (2004, p. 458) relata que quanto menos volume se perde no sistema, menor é a necessidade de explorar ou ampliar as captações de água, requerendo execução de obras com elevado custo e com forte impacto ambiental, representadas por barragens, represas e importação de águas de outras bacias;
- Covas e Ramos (2007, p. 47) relatam que o controle de pressão, reduz os custos de interrupção do abastecimento e reparação de avarias, custos diretos e danos de imagem.

O fato de quantificar os resultados de forma comparativa, tanto em termos de preservação dos componentes e equipamentos dos SSA, quanto na redução de perdas de água, economia de energia elétrica e de custos financeiros do sistema, permitem utilizar este trabalho como referência para tornar os sistemas de distribuição de água mais eficientes. Portanto, adotar sistemas de automação significa ratificar o compromisso de melhoria nos processos de abastecimento público de água, atendendo os clientes com mais qualidade e preservando o meio ambiente.

Fica como sugestão para um próximo trabalho: Analisar um sistema a ser automatizado, com viabilidade comparativa de pelo menos um ano.

6 CONCLUSÃO

A partir do controle de pressão automatizado, apresentado nessa dissertação, foi possível reduzir as perdas, IP%, de água no CR Portão, de 36,54% em maio de 2012 para 31,54% em maio de 2013, o que valida esse método como uma excelente medida de controle para a redução de perdas de água nos sistemas de abastecimento e dos impactos ambientais relacionados a essas perdas, como rompimentos e vazamentos de água no meio ambiente.

Ficou evidenciado que o controle de pressão reduziu a oscilação de pressão em 48,04%, a manutenção das redes de distribuição em 10,52%, a manutenção de ramais de distribuição em 46,23%, o consumo de energia elétrica em 15,08%, além da diminuição proporcional da fatura de energia para o sistema de bombeamento em 25,57%, o que representou um valor financeiro de R\$ 13.607,45.

Com o cálculo dos indicadores de perdas de água, verificou-se redução das perdas após a automação em 18,5% do IP% e 19,17% do IPL.

A consequência da redução do IPL em 19,17%, junto aos valores cobrados pela SANEPAR em 2013 para cada tipo de cliente, possibilitou calcular o valor do potencial de ganho monetário que passou a ser faturado em maio de 2013 pela empresa em relação a redução de perdas de maio de 2012, que representou o valor de R\$ 394.329,93. Quanto aos custos de fornecimento de água ao cliente final, essa redução de perdas com o controle de pressão automatizada representou R\$ 155.689,82.

Com o cálculo desses valores, junto ao custo de implantação da automação no sistema de R\$ 576.913,31, foi possível mensurar a viabilidade financeira do sistema de automação do CR Portão. Extrapolando os resultados obtidos para os meses seguintes, o retorno sobre investimento deu-se em aproximadamente 2 meses sobre o valor faturado pela SANEPAR e em aproximadamente 4 meses sobre o custo da água distribuída pela mesma.

Além dos dados que comprovaram a eficiência em se investir na automatização do sistema de pressão, este trabalho pode ser usado como referência para justificativa de investimentos ou melhorias dos sistemas de automação, que podem ser usadas como ferramentas tecnológicas para controle do abastecimento de água.

As empresas que aderirem a este tipo de ferramenta contarão com um diferencial que garantirá redução de custos, redução de perdas e aumento da produtividade. A utilização de informações em tempo real permitirá a correção de prováveis problemas de produção e distribuição, de forma rápida, aumentando a eficiência dos processos.

Mais importante que o retorno financeiro obtido com o controle de pressão é a mitigação das perdas de água no sistema de abastecimento, que além de aumentar a oferta de água tratada a população sem a necessidade de novas obras e danos ao meio ambiente, diminuem as incidências de rompimentos ou vazamentos de água e dos impactos ambientais por estas geradas.

A situação vivida em 2014 no estado de São Paulo, que segundo o SNIS (2011) possui 35,2% de perdas de água no sistema de abastecimento, justifica as ações em relação ao controle de perdas, como mostra esta dissertação. A quantidade de água perdida nesse sistema de abastecimento, talvez fosse o suficiente para manutenção dos níveis dos mananciais e conseqüentemente ao bem estar e disponibilidade de fornecimento ideal de água a população.

REFERÊNCIAS

- ABES Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Perdas em sistemas de abastecimento de água: diagnóstico, potencial de ganhos com sua redução e propostas de medidas para o efetivo combate**. São Paulo. 2013. 43 p. Disponível em < <http://www.abes-sp.org.br/arquivos/perdas.pdf>>. Acesso em 28 de Junho de 2014.
- ADASA Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal. Disponível em:<<http://www.adasa.df.gov.br>>. Acesso em 23 de janeiro de 2013.
- ALFACOMP, **A telemetria via sistemas de rádio modem – Uma abordagem prática voltada à Automação em sistemas SCADA**. 2006, rev. 1.1. 22 p. Disponível em <www.alfacomp.ind.br>, Acesso em 19/01/2014.
- ANDREOLI, C. V.; HOPPEN, C.; PEGORINI, E. S.; DALARMI, O. A crise da água e os mananciais de abastecimento. In: **Mananciais de abastecimento: planejamento e gestão**. Curitiba: Editado por Cleverson Vitório Andreoli, 2003. Sanepar Finep.
- ANDRADE FILHO, L. S. de. Bombas e estações elevatórias. In: GOMES, H. P. (Org.). **Sistemas de bombeamento – Eficiência energética**. João Pessoa: Editora UFPB, 2009. p. 45-112.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: **NBR 1216**: Projeto de Estações de Tratamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro. 1992.
- BEGA, E. A. Pressão: In BEGA, E. A.(Org). **Instrumentação industrial**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2003. p. 21-48.
- BEGA, E. A. Nível: In BEGA, E. A.(Org). **Instrumentação industrial**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2003. p. 143-206.
- BERTOLINO, M. **Avaliação das contribuições de água de chuva provenientes de ligações domiciliares em sistema de esgotamento sanitário separador absoluto**: Curitiba, 2013. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente Urbano e Industrial) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.
- BEZERRA, S. de. T. M. ; SILVA, S. A. da. Automação e controle. In: GOMES, H. P. (Org.). **Sistemas de bombeamento – Eficiência energética**. João Pessoa: Editora UFPB, 2009. p.203-250.
- CARNEIRO JUNIOR, J. N. C. **Automação em saneamento: A integração da cadeia produtiva**. Revista Intech, São Paulo, número 135, p. 43-48, 2011.
- CASSIOLATO, C. **Medição de pressão: características e tecnologias**. Revista Intech, São Paulo, número 93, p. 23-32, 2007.

CHEUNG, P. B.; REIS, L. F. R. Gerenciamento da qualidade da água em sistemas de distribuição – Técnicas computacionais. In: GOMES, H. P.; GARCÍA, R. P.; REY, P. L. I. (Org.). **Abastecimento de água**. João Pessoa: Editora UFPB, 2007. p.09-28.

COELHO, Adalberto Cavalcante. **Medição de água e controle de perdas**. 1 Ed. Rio de Janeiro, 1983.

COELHO, M. M. L. P; BAPTISTA, M. B. Adução. In: HELLER, L; PÁDUA, V. L. de. (Org.). **Abastecimento de água para consume humano**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006. p. 427-470.

COELHO, M. M. L. P. Estações elevatórias. In: HELLER, L; PÁDUA, V. L. de. (Org.). **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006. p. 471-518.

COELHO, M. M. L. P; LIBÂNIO, M. Reservação. In: HELLER, L; PÁDUA, V. L. de. (Org.). **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006. p. 571-601.

COVAS, D.; RAMOS, H. Minimização de perdas de água em sistemas de abastecimento. In: GOMES, H. P.; GARCÍA, R. P.; REY, P. L. I. (Org.). **Abastecimento de água**. João Pessoa: Editora UFPB, 2007. p. 47-66.

DEPEXE, M. D. **Termo de referência de combate a perdas em sistema distribuidor S.A.A**. Curitiba: Sanepar, 2008.

DELMÉE, G. J. VAZÃO: In BEGA, E. A.(Org). **Instrumentação industrial**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2003. p. 49-141.

FINKEL, V. CLP: In BEGA, E. A.(Org). **Instrumentação industrial**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2003. p. 143-206.

FINKEL, V. SDCD e redes de comunicação: In BEGA, E. A.(Org). **Instrumentação industrial**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2003. p. 497-523.

FINKEL, V. Intertravamento e sistemas de segurança: In BEGA, E. A.(Org). **Instrumentação industrial**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2003. p. 525-541.

FONSECA, F. R. da. **Tecnologias de comunicação utilizadas em sistemas SCADA para supervisão de redes de abastecimento**. São Paulo 2007: Revista Intech. Número 97, p. 111-112.

FRANGIPANI, Marcio. **Técnicas de operação em sistemas de abastecimento de água - Macromedição**, V.01. Brasília, D.F.: Ministério das cidades 2007.

FREITAIS, V. V. de. **Controle e Redução de Perdas em Sistemas de Distribuição de água: Contribuição na Preservação dos Mananciais de São Paulo**, São Paulo. 2011. Dissertação Mestrado em Tecnologia – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2011.

FUNASA - Fundação Nacional de Saúde. 4 edição – Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2006 núcleo de editoração e mídias de rede / Ascom/Presi/Funasa/MS.

GALVÃO, J. R. B. **Avaliação da relação pressão x consumo, em áreas controladas por válvulas redutoras de pressão (VRP's)**. Estudo de caso: rede de distribuição de água da Região Metropolitana de São Paulo. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-08012008-122840/>>. Acesso em: 2014-05-02.

GOMES, H. P. Abastecimento de água. In: GOMES, H. P.; GARCÍA, R. P.; REY, P. L. I. (Org.). **Abastecimento de água**. João Pessoa: Editora UFPB, 2007. p.03-04.

GONÇALVES, E.; ALVIM, P. R. A. **Técnicas de operação em sistemas de abastecimento de água - Pesquisa e Combate a Vazamentos Não Visíveis**, V.03, Brasília, DF.: Ministério das cidades 2007.

GOMES, A. S; OTERO, O. L. C. de; COURA, S. P. de. Ações de eficiência energética. In: GOMES, H. P. (Org.). **Sistemas de bombeamento – Eficiência energética**. João Pessoa: Editora UFPB, 2009. p. 297-334.

GOMES, H. P.. **Sistemas de Abastecimento de Água**. 2 Ed. Editora Universitária. João Pessoa: 2004.

GOMES, M.; RAMOS, D.; NAPOLITANO, T. **Redes de campo em sistemas instrumentados de segurança**. São Paulo: Revista Intech, 2013. Número 149, p.25-33.

HELLER, L. Abastecimento de água, sociedade e ambiente. In: HELLER, L; PÁDUA, V. L. de. (Org.). **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006. p. 29-63.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo demográfico de 2010**. Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/xtras/perfil.php?codmun=410690&search=parana.curitiba>>. Acesso em 20/10/2013.

JANUÁRIO, J. L. Modernização para garantir segurança, qualidade e eficiência no fornecimento de água. São Paulo: Revista Controle & Instrumentação. Número 189. 2013. p. 32-35.

KURODA, E. K; PÁDUA, V. L. de. Tubulações e acessórios. In: HELLER, L; PÁDUA, V. L. de. (Org.). **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006. p. 683-740.

LIMA, E.; KOSSATZ, B.; BOMBASA, J.; PINHEIRO, L.; SALOMÃO, G. **Sistemas SCADA na automação do saneamento**. São Paulo: Revista Intech. Número 135, p. 33-41.

MARQUES, T. M. P. **Sistemas de automação industrial**. Curitiba: 2012. Apresentação sobre automação no saneamento. SANEPAR.

MEDEIROS FILHO, C. F. de. **Abastecimento de água**. Campina Grande: 2009. Disponível em: <<http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/Agua.html>>. Acesso em 26/05/2013.

MIRANDA, E. C. Gerenciamento de perdas de água. In: HELLER, L; PÁDUA, V. L. de. (Org.). **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006. p. 789-816.

MIYOSHI, E. M.; SANCHES, C. A. Projetos de sistemas de rádio. São Paulo: Editora Érica, 3 ed., 2006. 534 p.

NIELSEN, M. J.; TREVISAN, J.; BONATO, A.; SACHET, M. A. de C. **Medição de água – estratégias e experimentações**. Curitiba: Editora Optgraf, 2003.

OLIVEIRA, N. S. **Estudo de Secagem de Lodo de Estação de Tratamento de Água**. Curitiba: 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

OMS Organização mundial da saúde (2014). Disponível em: <http://www.who.int/eportuguese/copyright/pt/>. Acesso em 04/09/2014

PÁDUA, V. L. de. Introdução ao tratamento de água. In: HELLER, L; PÁDUA, V. L. de. (Org.). **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006. p.519-570.

PAIOLA, C. E. G.; TEIXEIRA, S. **Aplicação de sensor virtual em processo de saneamento**. São Paulo: Revista Intech, 2011. Número 135, p.21-30.

PRINCE, A. A. de. Captação de água de superfície. In: HELLER, L; PÁDUA, V. L. de. (Org.). **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006. p.329-377.

PRINCE, A. A. de. Rede de distribuição. In: HELLER, L; PÁDUA, V. L. de. (Org.). **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006. p. 603-681.

REIS, L. F. R.; CHEUNG, P. B. Os vazamentos nas redes de distribuição de água. In: GOMES, H. P.; GARCÍA, R. P.; REY, P. L. I. (Org.). **Abastecimento de água**. João Pessoa: Editora UFPB, 2007. p.67-84.

RIBEIRO, M. A. **Simbologia e Identificação da Instrumentação**. Curitiba: 2012. Curso Modular de Automação e Instrumentação Industrial - ISA Curitiba.

RIBEIRO, M. A. **Medição de nível**. São Paulo: Revista Intech, 2007. Número 94, p. 32-40.

ROCHA, A. M. P. da. R. **Automação na SABESP**. São Paulo: Revista Intech, 2011. Número 135, p. 7-19.

RODRIGUES, W.; LUVIZOTTO JUNIOR, E. **Inversor de frequência em sistemas de bombeamento**. São Paulo, fevereiro 2013. Disponível em: <<http://www.saneamentobasico.com.br/portal/wpcontent/uploads/2013/02/INVERSOR-SISTEMAS-BOMBEAMENTO.pdf>>. Acesso em: 20/02/2014.

ROQUE, L. A. O. L.; MARTINS, R. G. dos SANTOS. **Um modelo para automação de processos dosadores**. São Paulo 2014: Número 194, p. 36-44.

SANEPAR Companhia de Saneamento do Paraná – **Fluxograma convencional do sistema de saneamento**, disponível em <<http://www.sanepar.com.br>>. Acesso em 10/02/2014.

SANEPAR - Sistemas de Supervisão, Controle e Aquisição de Dados - SCADA . Curitiba, 2014 – Aquisição dos gráficos de pressão.

SANEPAR - Sistema de Informações da Sanepar – SIS. Curitiba, 2014. Banco de dados da SANEPAR.

SANEPAR. - Sistema de Análises e Solução de Problemas de Perdas da Sanepar - SAPIENS. Curitiba, 2014. Banco de dados da SANEPAR.

SANEPAR. Portal da Diretoria de Operações – DO. Desenvolvimento operacional, treinamentos – MASPP. Curitiba, 2013.

SANEPAR. Dados do custo de produção de água e consume energético . Curitiba, 2014. USPD.

SANEPAR. Custos de implantação da Automação. USPE. Curitiba 2014.

SANEPAR. Dados do volume macromedido. URCTS. Curitiba 2014.

SENAI-PE, **Automação Controladores Lógicos Programáveis. Recife: 2008**. SENAI.PE/DITEC/DET. 126p. il.

SENAI-RS, **Apostila de Instrumentação e controle**. Porto Alegre: 2012. p. 213.

SIEMENS, Apostila Módulo TIA Portal 010 – 060. Engenharia de controle com o SIMATIC S7 – 1200. 2013. p. 56

SILVA, C. A. M. de.; TSUTIYA, M. T. Automação de sistemas de abastecimento de água. In: TSUTIYA, M. T (Ed.). **Abastecimento de água**. São Paulo: Editora , 2004. p. 577-643.

SILVA, S. A. da. Acionamentos de motores elétricos. In: GOMES, H. P. (Org.). **Sistemas de bombeamento – Eficiência energética**. João Pessoa: Editora UFPB, 2009. p. 113-166.

SILVEIRA, P.R.; SANTOS, W. E. **Automação e controle discreto**. São Paulo: Editora Érica, 1998. p. 23.

SNIS Sistema nacional de informações sobre Saneamento (2011). Disponível em: <<http://www.snis.gov.br>>. Acesso em 25/01/2014

SOBRINHO, P. A.; MARTINS, G. Abastecimento de água. In: TSUTIYA, M. T. (Org.) **Abastecimento de água**. São Paulo: 2004. p.01-08

TARDELLI FILHO, J. Controle e redução de perdas. In: TSUTIYA, M. T (Ed.). **Abastecimento de água**. São Paulo: Editora, 2004. p.457-525.

TROJAN, F.; KOVALESKI, J. L. **Automação do sistema de abastecimento de água de Ponta Grossa-PR: uma abordagem visando à redução de perdas**. Curitiba: 2004. Revista Sanare, V.22, n 22 p. 4-11, Jul/Dez 2004.

TSUTIYA, M. T. Adutoras. In: TSUTIYA, M. T. (Org.) **Abastecimento de água**. São Paulo: 2004. p. 155-224

TSUTIYA, M. T. Captação de águas superficiais. In: TSUTIYA, M. T. (Org.) **Abastecimento de água**. São Paulo: 2004. p. 67-99.

TSUTIYA, M. T. Estações elevatórias. In: TSUTIYA, M. T. (Org.) **Abastecimento de água**. São Paulo: 2004. p. 225-336.

TSUTIYA, M. T. Redes de distribuição de água. In: TSUTIYA, M. T. (Org.) **Abastecimento de água**. São Paulo: 2004. p. 389-456.

TSUTIYA, M. T. Reservatórios de distribuição de água. In: TSUTIYA, M. T. (Org.) **Abastecimento de água**. São Paulo: 2004. p. 337-387.

TSUTIYA, M. T. Uso de inversores de frequência para diminuição do consumo de energia em bombeamentos. In: GOMES, H.P.; GARCÍA, R.P.; REY, P. L. I. (Org.) **Abastecimento de água – O estado da arte e técnicas avançadas**. João Pessoa: Editora UFPB, 2007. p. 103-122.

WILK, Hubert. **Wartung, Instandhaltung und Betrieb von Wasserversorgungsnetzen**. Palestra: Curso de Extensão Internacional na Alemanha em Meio Ambiente. PPGMAUI. **Universität Stuttgart**, ISWA, Alemanha 2013.

WINNISCHOFER, G. **Inversores de frequência x válvulas de controle: uma comparação sob o ponto de vista do custo incorrido durante o ciclo de vida.** São Paulo: 2013. Revista Intech, número 149, p. 37-42.

VIANNA, W. da S. **Controlador lógico programável**. Campos dos Goytacazes – RJ. 2008. Instituto federal fluminense de ciência e tecnologia. 69 p.

VOTRE, R. **Estudo de ferramentas e viabilidade de controle e supervisão de processos industriais pela internet**. Curitiba: 2006. Dissertação (Pós graduação

em Mecatrônica Industrial) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2006.

VOTRE, R.; NEUFFER, D.; MARQUES, T. M. P.; KROIN, E. A. **Automação e Ferramentas para controle de perdas em um sistema de abastecimento de água**. São Paulo: 2014. Revista Intech, número 153, p.12-20.

YOKOGAWA. Sensor de pressão. Disponível em
<<http://www.yokogawa.com.br/produtosesolucoes/index.php?id=4>>. Acesso em 20/02/2014.

ZAMPRONHA, R. **Sistemas Supervisórios**. São Paulo: 2006. Revista Intech, número 83, p. 9-16.

